

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-190-6 改0
提出年月日	平成30年5月29日

工事計画に係る補足説明資料
工事計画に係る説明書（原子炉冷却系統施設）のうち
原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいを監視する装置の構成に関する
説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書
補足-190-6
【原子炉格納容器内の原子炉冷却材漏えい監視の評価時間について】

平成30年5月
日本原子力発電株式会社

目次

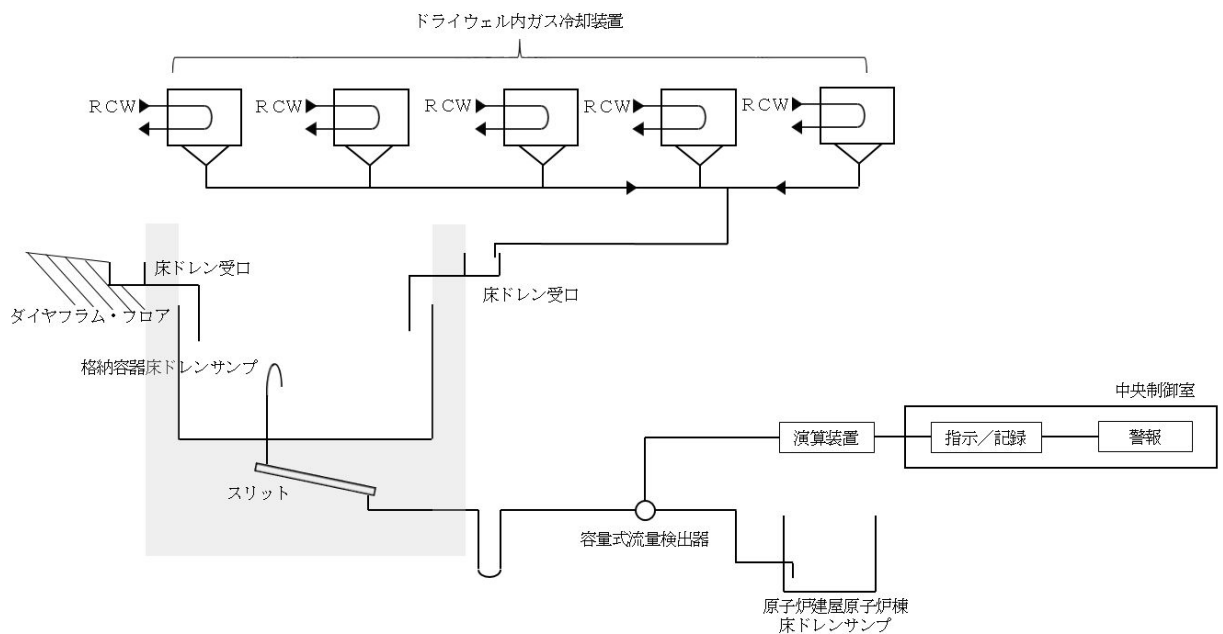
1. 格納容器床ドレンサンプ流量計の検出時間について・・・・・・・・・・1
2. ドライウェル内ガス冷却装置による漏えい検出の評価時間の保守性について・・・・・・・・2
3. 凝縮液量が平衡状態に達する時間に関する妥当性について・・・・・・・・5
4. ドレン管移送時間の算出について・・・・・・・・7
5. 漏えい検出設備の検出時間評価に使用する配管及び床面の粗度係数について・・・・・・・・8
6. 漏えい水（液体分）の漏えい検出の評価時間の保守性について・・・・・・・・9

1. 格納容器床ドレンサンプ流量計の検出時間について

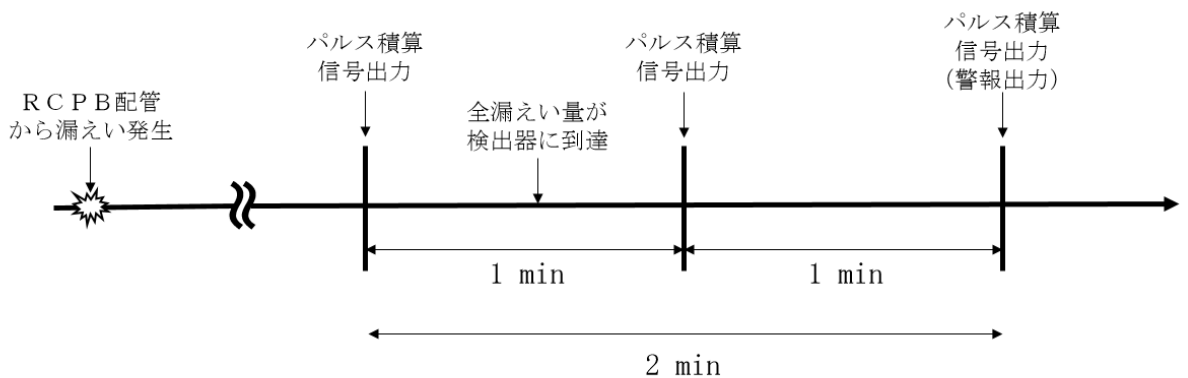
格納容器床ドレン流量計は、流量 250 mL に対して 1 パルスの接点信号を発する検出器と、その信号を流量信号に変換する演算装置等から構成される。

警報動作範囲は 0~0.6 m³/h で設定可能であり、0.23 m³/h (1 gpm) の流量を検出した場合に格納容器床ドレンサンプ流量高の警報を中央制御室に発信する。なお、警報動作流量以上の流量では、警報動作状態を継続する。(第 1-1 図「格納容器床ドレン流量計の概略構成図」参照)

演算装置の出力は 1 分間のパルス信号積算値出力を次の 1 分間の出力まで保持する設計としているため、格納容器床ドレン流量計の検出時間を 2 分に決定する。(第 1-2 図「格納容器床ドレン流量計の検出時間の考え方」参照)



第 1-1 図 格納容器床ドレン流量計の概略構成図



第 1-2 図 格納容器床ドレン流量計の検出時間の考え方

2. ドライウェル内ガス冷却装置による漏えい検出の評価時間の保守性について

ドライウェル内ガス冷却装置による漏えい検出時間 ($T_1 \sim T_4$ の合計で 35 分) には、以下の通り保守性を見込んでおり、格納容器床ドレンサンプから格納容器床ドレン流量計までの検出時間 ($T_8 \sim T_9$) 及び格納容器床ドレンサンプ流量計の検出時間 (T_{10}) の合計 8 分を加えても 60 分を超えないため、問題なく 1 時間以内に $0.23 \text{ m}^3/\text{h}$ の漏えい量 (蒸気分) を検出可能である。

(1) ドライウェル内ガス冷却装置までの蒸気到達時間： $T_1=2$ 分における保守性

漏えいした蒸気がドライウェル内ガス冷却装置の冷却コイルに達し、冷却が開始されるまでの時間 T_1 を評価する際には、ドライウェル内ガス冷却装置に蒸気が到達するまでの時間に (2) で述べる原子炉格納容器内に漏えいした蒸気が徐々に充満し平衡状態となる過程も一部で始まっているが、そのことは考慮せず保守的に評価している。

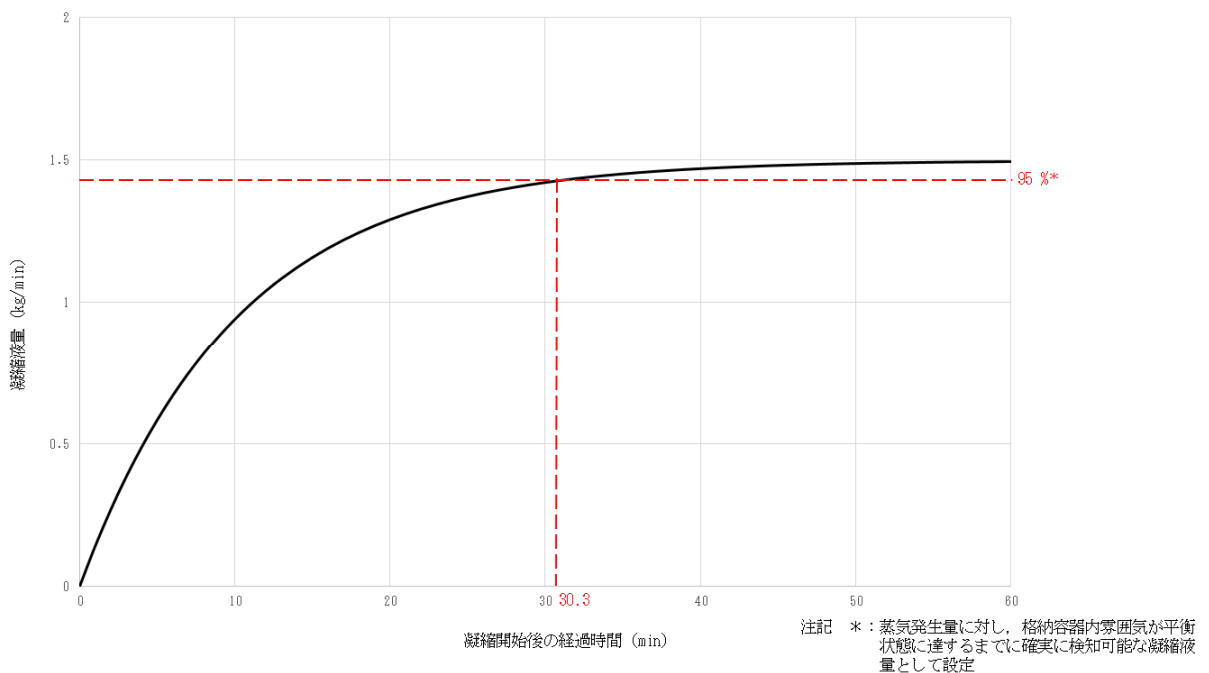
また、RCPB 配管から漏えいした蒸気がドライウェル内ガス冷却装置の冷却コイルに達する最長経路は、漏えい蒸気を含む原子炉格納容器内の空気が冷却ファンにより一巡する時間を T_1 とすることで保守的に評価している。

(2) 凝縮液量が平衡に到達する時間： $T_2=31$ 分における保守性

漏えい蒸気が凝縮に要する時間は、ドライウェル内ガス冷却装置における凝縮液量が、蒸気分の漏えい量と平衡となる時間として評価している。ここで、本評価に対しては確実に漏えい蒸気分の検出を可能とするために、格納容器床ドレン流量計の警報設定値を漏えい蒸気分の 95 % とすることで対応する。

凝縮液量と経過時間の関係は第 2-1 図のグラフの関係であり、凝縮液量が蒸気分の漏えい量の 95 % に達する時間は約 30.3 分である。これを保守的に 31 分と評価している。

また、平衡に達する時間の妥当性については、3. で示す。

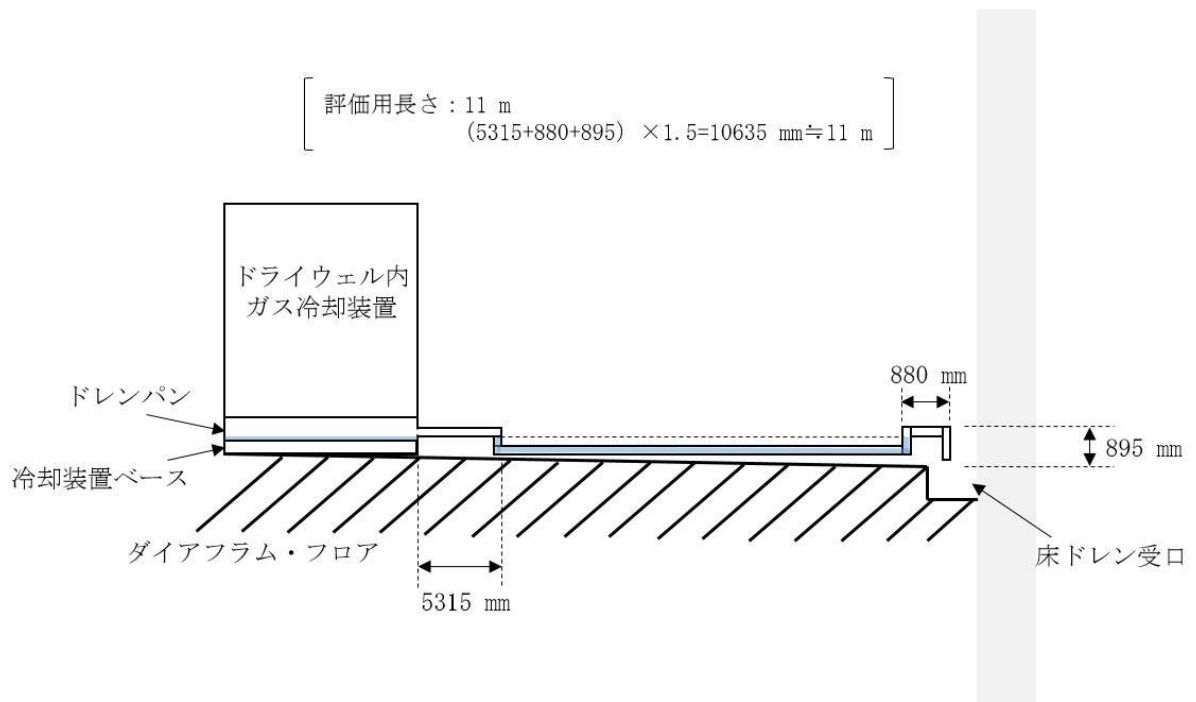


第 2-1 図 凝縮液量が平衡に達する時間

(3) 凝縮液ドレン管移送時間： $T_3=2$ 分における保守性

凝縮液ドレン管には垂直部と水平部（1/100 こう配）があるが、凝縮液ドレン管移送時間を評価するには、保守的に垂直部を含む全体を水平部と同じ1/100 こう配と仮定して評価している。垂直配管の流速は水平部より早くなることから、実際の検出時間は評価時間よりも短くなると考えられる。

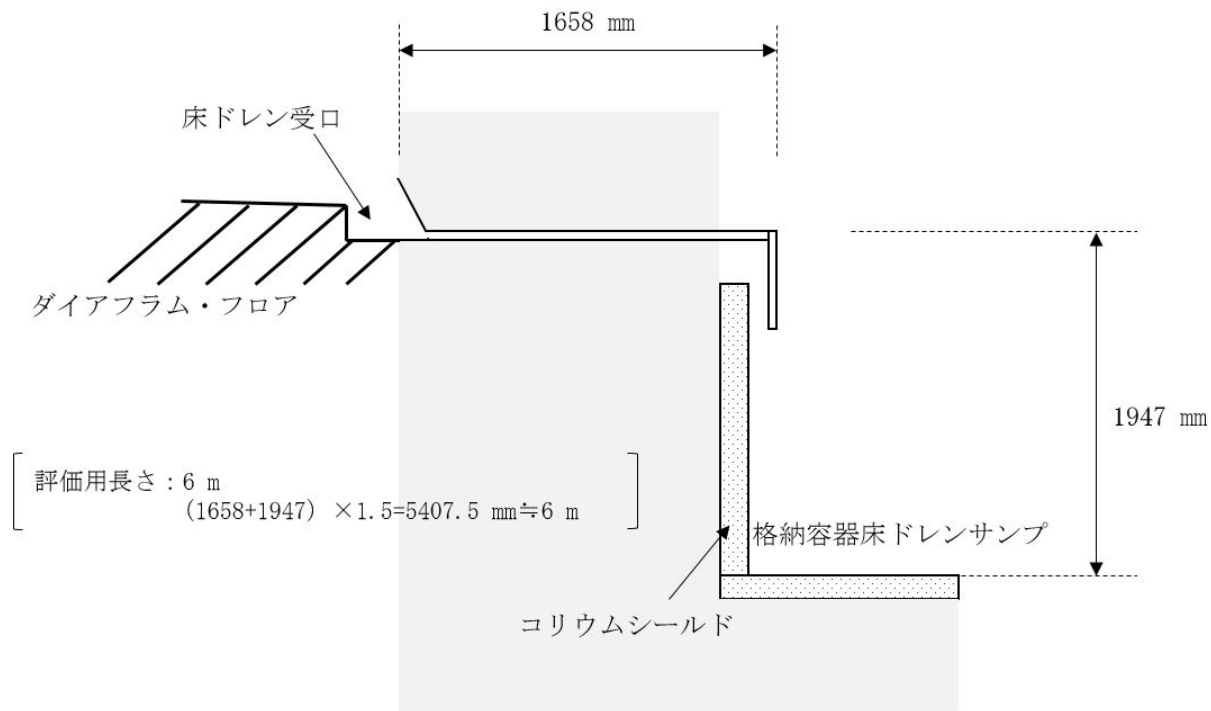
なお、凝縮液ドレン管の一部はUシール構造となっていることから、水封されているドレン管長さについては評価時間に考慮していない。



第 2-2 図 凝縮液ドレン管移送時間における概略図

(4) 床ドレン管移送時間： $T_4=1$ 分及び $T_7=1$ 分における保守性

床ドレン管には垂直部と水平部（1/100 こう配）があるが，床ドレン管移送時間を評価する際には，保守的に垂直部を含む全体を水平部と同じ1/100 こう配と仮定して評価している。垂直配管の流速は水平部より早くなることから，実際の検出時間は評価時間よりも短くなると考えられる。



第2-3図 床ドレン管移送時間における概略図

3. 凝縮液量が平衡状態に達する時間に関する妥当性について

- (1) ドライウェル内ガス冷却装置は、通常運転時において、ドライウェル内ガス冷却装置ファンによる強制循環によって、原子炉格納容器内の機器、配管等からの発熱を除去するために設置している。

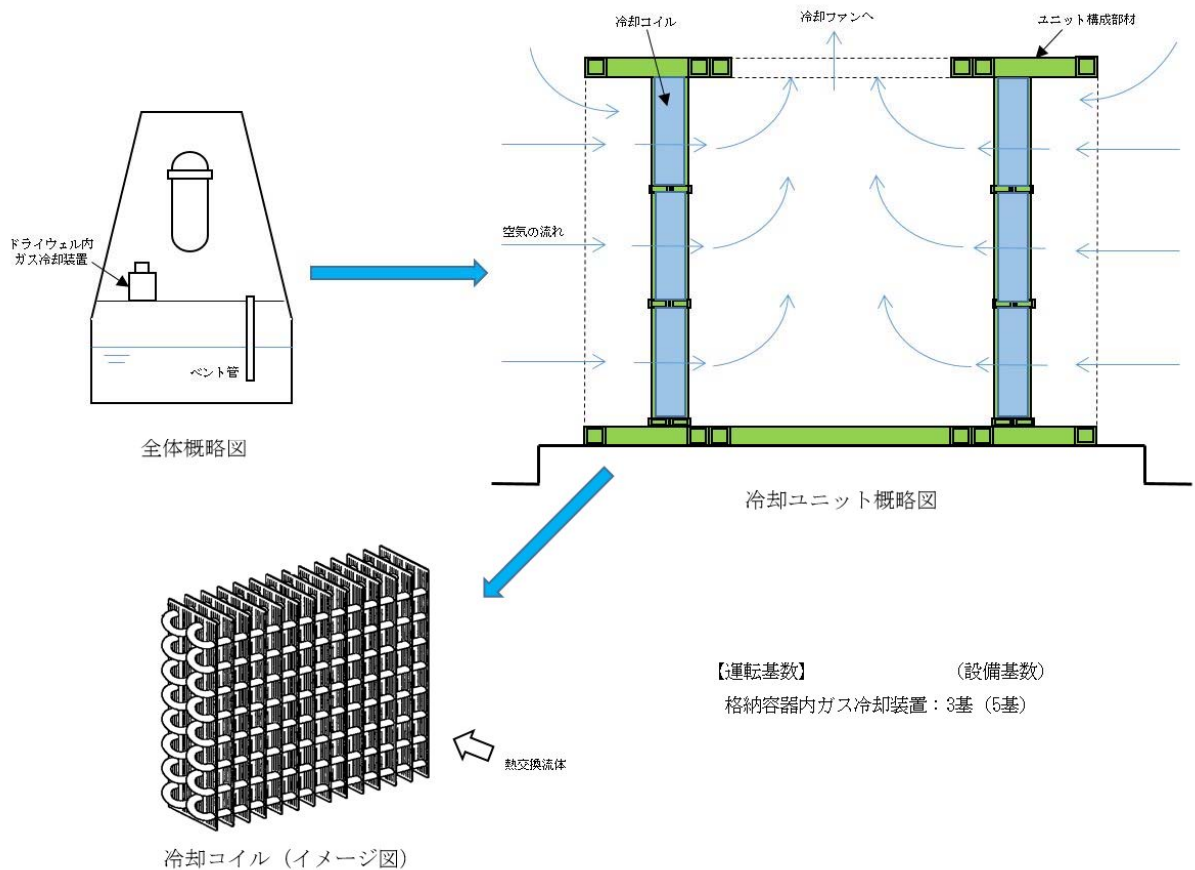
冷却装置の容量は、通常運転時における原子炉格納容器内の環境維持のための必要冷却量を基に設定し、原子炉格納容器内の平均温度を 57.2 °C 以下に維持するために必要な容量としている。

(2) ドライウェル内ガス冷却装置の構造・機能について

a. ドライウェル内ガス冷却装置の構成について

RCPB配管から格納容器内へ漏えいが生じたときに、蒸気分については原子炉格納容器に配置される「ドライウェル内ガス冷却装置」にて冷却される。ドライウェル内ガス冷却装置は原子炉格納容器内に5台設置されており、通常運転時は3台運転とし、他の2台は予備機としている。また、通常運転時に運転している3台の冷却装置のうち、1台には格納容器除湿用としてドライウェル除湿設備より冷水を供給し、原子炉格納容器雰囲気気を低湿度に維持する設計としている。

冷却ユニットは、ユニット構成部材（骨組鋼材、外板等）で風路を形成し、冷却コイルを鋼材に取付け、その設置面をガスケットでシールし、ファンにより吸込口から取り込まれた空気がバイパスすることなく冷却コイルを通過する構造とする。冷却ユニットの概略図を下記の第3-1図に示す。



第3-1図 ドライウェル内ガス冷却装置の概略図

4. ドレン管移送時間の算出について

(1) ドレン管移送時の流速の算出

ドレン管移送時間 ($T_3, T_4, T_6, T_7, T_8, T_9$) の算出において、ドレンの流速 v を求めるときに解が複数存在する場合があるため、この時の算出条件について、以下に示す。

v は①から m の関数、さらに m は②から A と L つまり θ の関数になる。一方、 Q は A と θ の関数となる。

ガンギエ・クッタの経験式は開渠（上蓋のされていない水路）に適応される経験式であるため、水密状態に近い ($180 \leq \theta \leq 360$) は適応範囲外となる。

角度 θ と水量 Q 、流速 v の関係を第 4-1 図に示す。

(算出式)

$$v = C \sqrt{m \cdot i}$$

$$C = \frac{23 + (1/n) + (0.00155/i)}{1 + \{23 + (0.00155/i)\}(n/\sqrt{m})}$$

v : 平均流速 (m/s)

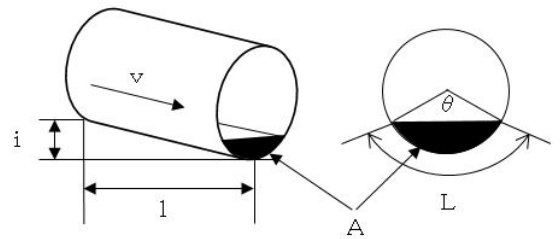
C : 流速係数

m : 流体平均深さ (m)

i : こう配

n : 粗度係数*

注記 * : 管路の材質によって変わる係数

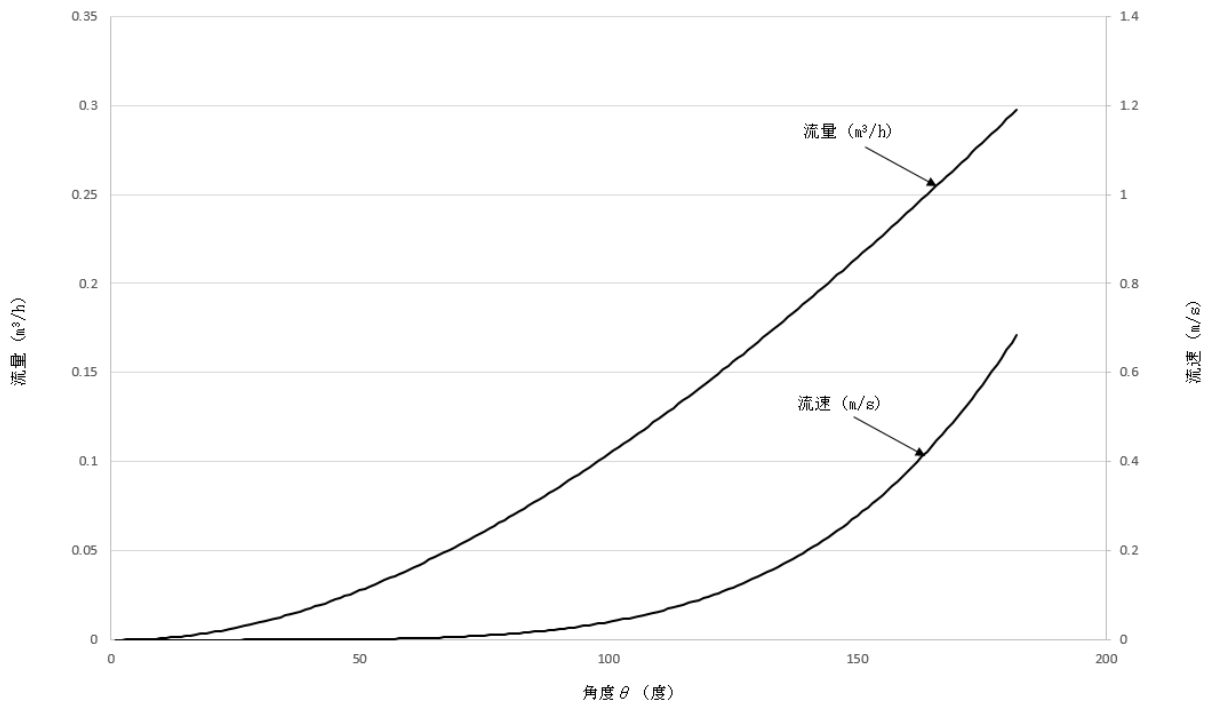


断面積 : A (m^2)

流量 : $Q_D = v \cdot A \cdot 3600$ (m^3/h)

平均深さ : $m = A/L$ (m)

ぬれ縁長さ : L (m)



第 4-1 図 流量と流速と配管断面（角度）の関係

5. 漏えい検出設備の検出時間評価に使用する配管及び床面の粗度係数について

(1) ドレン管の粗度係数

ドライウェル内ガス冷却装置にて凝縮した凝縮液を床ドレン受口に移送するドレン配管、床ドレン受口から格納容器床ドレンサンプに移送するドレン配管及び格納容器床ドレンサンプから格納容器床ドレン流量計に移送するドレン配管内を流れる漏えい水の流速は、シェジー形の公式及びガンギェ・クッタの経験式を基に算出しており、この際に配管の内面粗さを表すパラメータとして粗度係数を使用している。

本評価で使用する粗度係数は、「機械工学便覧」に記載されている黄銅管の粗度係数(0.009～0.013)を参考に0.01としている。

なお、粗度係数は以下に示す Manning-Strickler の式を用いて評価することも可能であり、実機におけるステンレス鋼管の粗度係数は0.01以下となることも考慮し、本評価で用いる粗度係数は0.01としている。

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{7.66 \times \sqrt{g}}$$

n : 粗度係数
 k_s : 相当粗度 (=配管内面粗さ)
 g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

第5-1表 ステンレス鋼管の粗度係数

	ステンレス鋼管
相当粗度 k _s	5×10 ⁻⁵ m*
粗度係数 n	0.008

注記 * : メーカーで一般的に使用している値

(2) 床面の粗度係数

漏えい水が床ドレン受口まで床面を移動する際の流速は、シェジー形の公式及びガンギェ・クッタの経験式を基に算出しており、この際に配管の内面粗さを表すパラメータとして粗度係数を使用している。

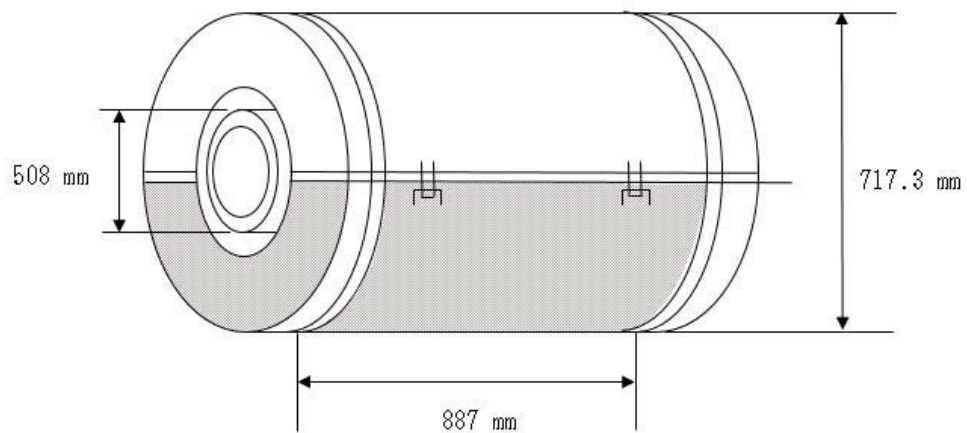
本評価で使用する粗度係数は、「機械工学便覧」に記載されている純セメント平滑面の粗度係数(0.009～0.013)を参考にしており、発電所における床面は塗装により滑らかであるが、本評価では0.013とし、保守的な評価としている。

6. 漏えい水（液体分）の漏えい検出の評価時間の保守性について

(1) 保温材から漏れ出るまでの時間： $T_5=39$ 分における保守性

原子炉冷却材配管は保温材（金属保温）を設置しており、保温材から漏えい水が漏れ出るまでの時間 T_5 は、保守的に保温材の一部が損傷したことを仮定し、漏えい水が2分割の一部の保温材及び保温材と原子炉冷却材配管のすき間の2分割部分に滞留後に接合部から漏れ出ると仮定し算出している。保温材は円周方向に一体構造のものではなく、独立に2分割された金属保温を止め合わせて取り付けられていることから漏えい水は保温材内に入り込むとは考えにくいが安全側の評価をしている。

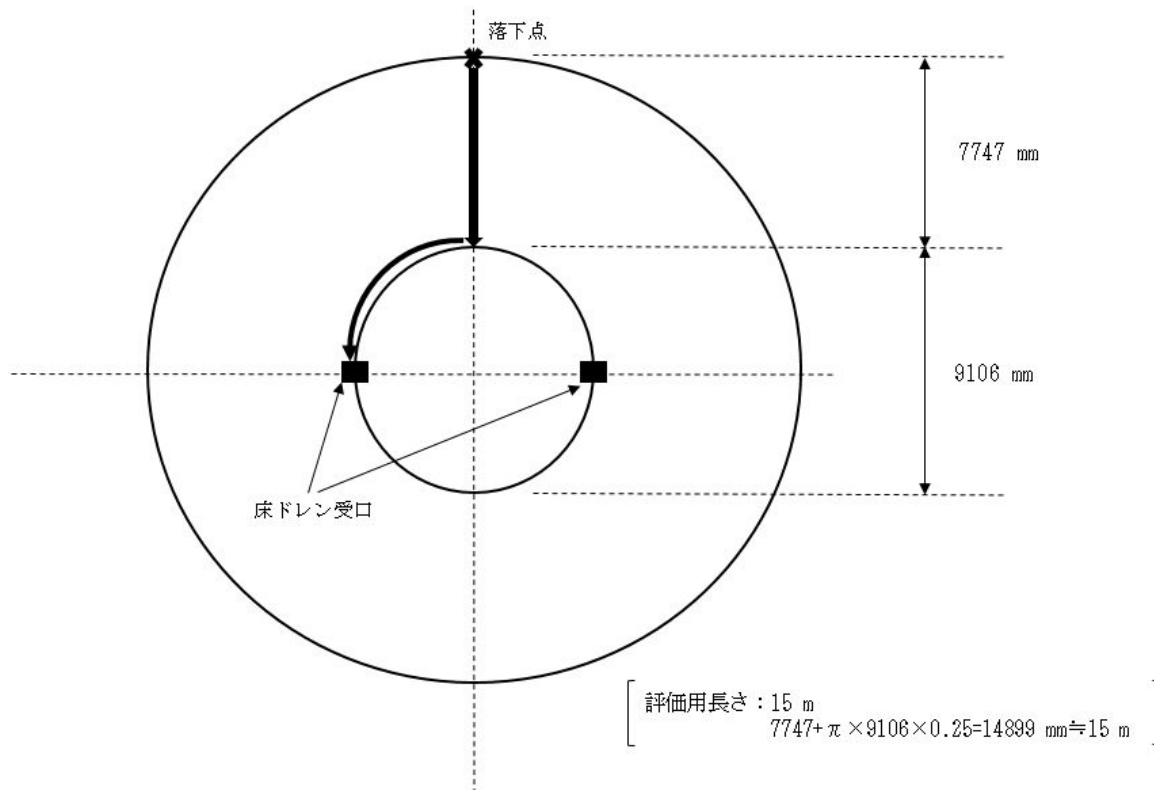
なお、本評価では保守的に今回の拡大範囲を含む原子炉冷却材配管のうち最も保温材内容積の大きい箇所にて評価している。



第 6-1 図 保温材から漏れ出るまでの時間における概略図

(2) 床ドレン受口までの到達時間： $T_6=8$ 分における保守性

保温材からの漏えい水は原子炉格納容器内の床面に落下するが、床面には床ドレン受口があり、この床ドレン受口に向かってこう配（1/100 こう配）を設ける設計である。本評価における落下位置は T_5 にて評価した配管の真下ではなく、原子炉格納容器内において床ドレン受口から最も離れている箇所から評価することで保守的な評価としている。

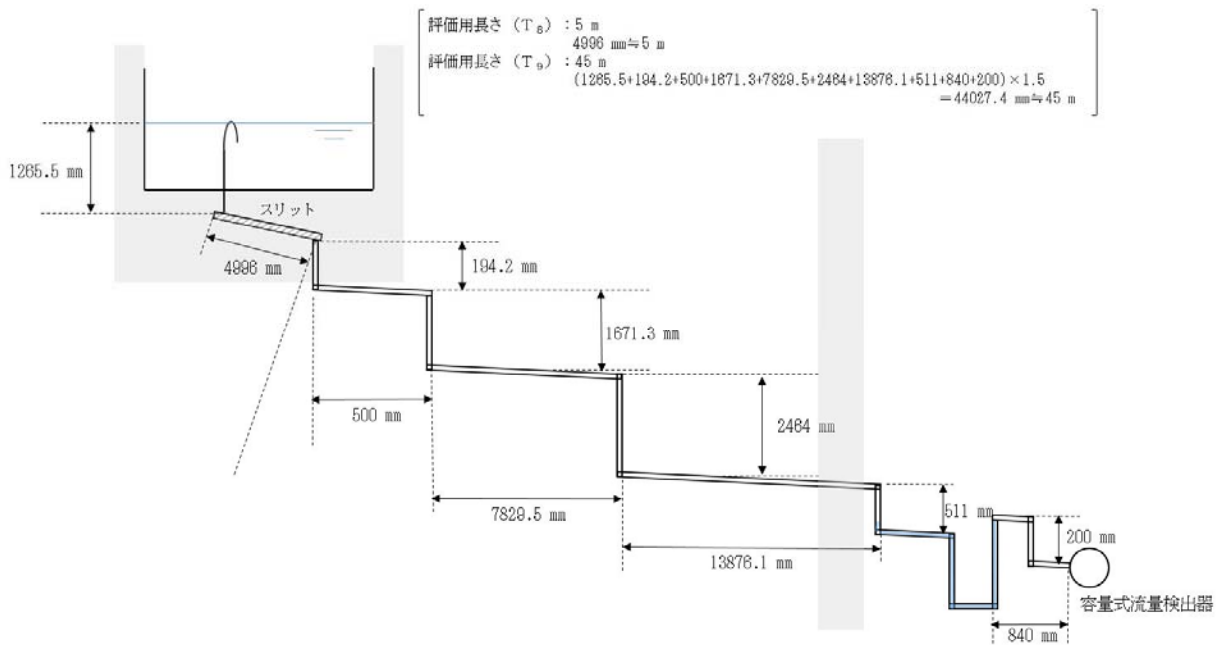


第6-2図 床ドレン受口までの到達時間における概略図

(3) サンプル移送ライン移送時間： $T_8=2$ 分及び $T_9=4$ 分における保守性

サンプル移送ライン配管には垂直部と水平部（1/100 こう配）があるが、サンプル移送ライン移送時間を評価する際には、保守的に垂直部を含む全体を水平部と同じ1/100 こう配と仮定して評価している。垂直配管の流速は水平部より早くなることから、実際の検出時間は評価時間よりも短くなると考えられる。

なお、サンプル移送ライン配管の一部はUシール構造となっていることから、水封されているドレン管長さについては評価時間に考慮していない。



第6-3図 サンプル移送ライン移送時間における概略図