

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

資料番号：TK-1-1162 改5

平成30年 8月 16日

日本原子力発電株式会社

ペDESTAL排水系に設置する安全弁について

1. 安全弁の設置概要

万が一、デブリによる配管内部の流体が急激に膨張し圧力上昇することを想定し、排水配管側が加圧された場合の配管及び格納容器外側隔離弁の損傷を防止するため、安全弁を設ける設計とする。(図1参照)

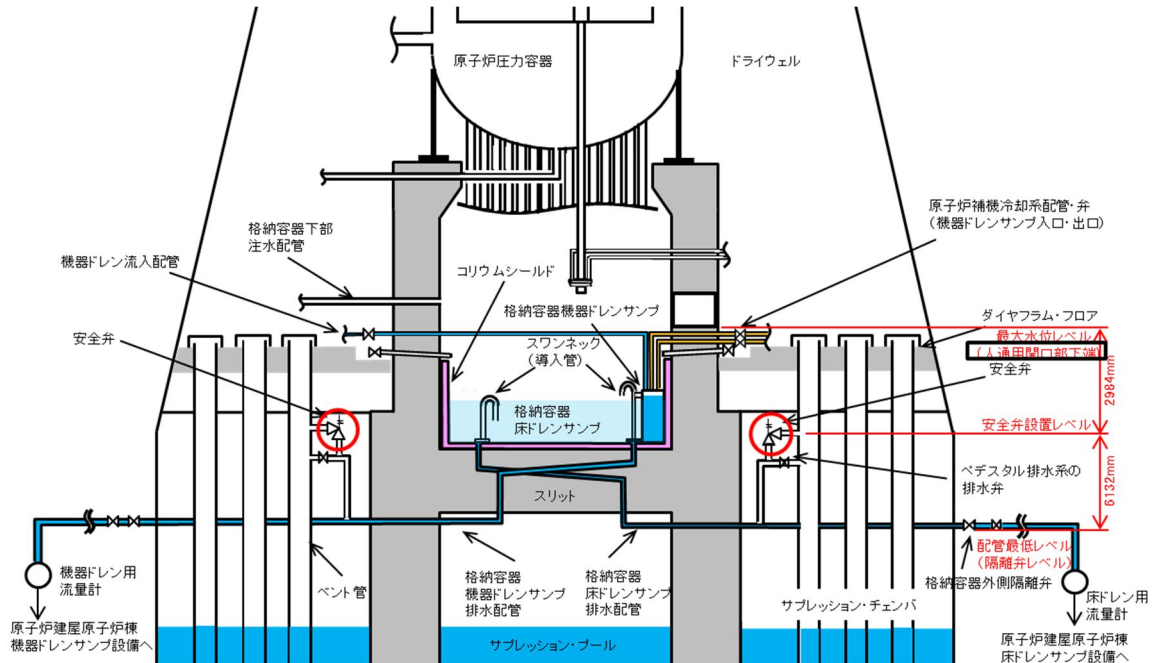


図1 安全弁設置位置概要図

2. 安全弁の吹出し圧力について

安全弁の吹出し圧力については格納容器バウンダリの最高圧力である 0.62 MPa (2Pd) 時でもペDESTAL内の最大水位維持に影響無いように 0.67 MPa (セット値) とする。

安全弁設置レベル (EL. mm) とペDESTAL内を最大水位時レベル (人通用開口部下端: EL. mm) の差は 2,984 mm であり、その水頭差は圧力換算で約 0.0293 MPa となる。(図1寸法参照)

弁の作動圧力範囲は % であり 0.67 MPa のときで約 MPa の範囲となる。弁の作動圧力範囲のプラス側及び水頭差を考慮して $0.62 + \text{} + 0.0293 = \text{}$ MPa となることから、安全弁が水位維持に悪影響を及ぼすことは無い。

また、安全弁に係る排水配管 (隔離弁含む) の最高使用圧力は、安全弁が吹出す際の圧力に安全弁からの水頭差 (格納容器外側隔離弁: EL. mm) 6,132 mm (圧力換算で 0.0601 MPa) 及び作動圧力範囲を考慮して $0.67 + 0.0601 + \text{} = \text{}$ MPa より 0.76 MPa とする。

3. 安全弁の吹出し量について

3.1 安全弁の吹出し量の計算

安全弁の吹出し量の計算は J S M E S N C 1 - 2005/2007 に基づき以下のとおり計算される。

$$W = 5.04An\sqrt{(1.1\Delta PG)} = 5.04 \times \boxed{} \times 0.5 \times \sqrt{(1.1 \times 0.05 \times \boxed{})}$$
$$= \boxed{} \text{ (kg/h)} \doteq \boxed{} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A [中西1] : 安全弁内流路断面積 (mm²)

流路径 : $\boxed{}$ mm, リフト量 $\boxed{}$ mm とすると

$$3.14159 \times \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

n : 流量係数 0.5

ΔP : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力の差 $0.67 - 0.62 = 0.05$ (MPa)

G : 入り口側の液体の密度 $\boxed{}$ (kg/m³)

計算された吹出し量は約 $\boxed{}$ m³/h である。

3.2 安全弁の吹出し量の妥当性

スリットが閉塞し配管内部が加熱される状態を想定し、その際のペDESTAL排水系の状態変化に応じた内部流体の体積増加速度と吹出し量の比較により、設定した吹出し量が問題無いことを確認する。

デブリが落下しペDESTAL内にためた水を通過してデブリがスリットに侵入した場合、スリット内に水が無い場合でも 1m 程度スリットに侵入し 1 秒未満でデブリは凝固される。

実際はスリット内に水があるため、デブリは水との接した部分に水蒸気の膜をまといスリット内の水を押し込みながら進む。その際のデブリによる水頭差による圧力は水との密度差を考慮しても安全弁が動作するほどの圧力にはならない。

① デブリからの入熱がすべて蒸気となった場合

- ・ 保守的にデブリからの入熱のすべてが水に対して蒸気への状態変化に使われたと仮定した場合、デブリとの接触部で蒸気が発生し、スリット内部に蒸気が溜まり配管内の水を押し出す。(図 2 参照)
- ・ 発生蒸気速度は表 2 より $\boxed{}$ m³/h であり、安全弁の水の吹出し容量 $\boxed{}$ m³/h よりも小さいため、ペDESTAL排水系内で増加した体積を安全弁で十分吹出せる。
- ・ 実際はデブリからの入熱が蒸気を介して行われること及び入熱を蒸気の体積膨張

よりも厳しい蒸気の発生のみを用いていることから、安全弁への吹出し量はもっと少ないと考えられる。

- ・サプレッション・チェンバ気相部の配管の放熱の影響でスリット部に蒸気が満たされた以降は安全弁の動作は減るが、最終的に蒸気が安全弁から吹出すことになったとしても、蒸気の体積膨張よりも厳しい条件の上記評価に包含されるため問題無い。

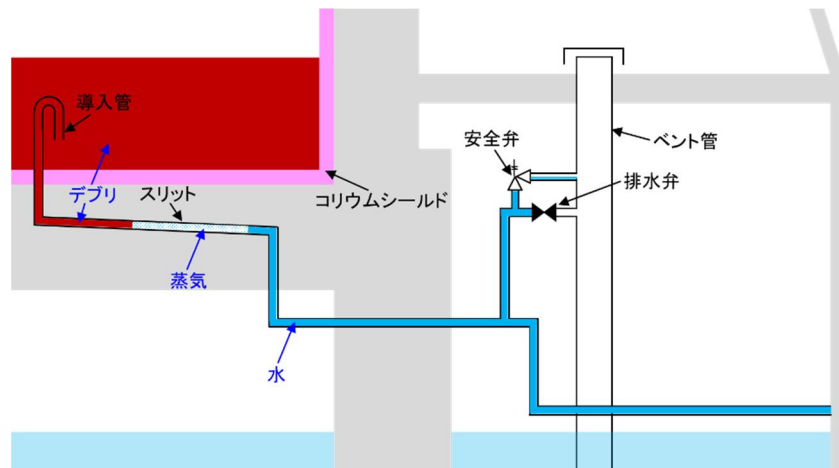


図2 スリット内に蒸気が発生した状態

表1 配管内部流体への入熱量の計算

| 項目 | 単位 | 値 | 備考 |
|--------------------------|---------------------|----------------------|---|
| 水との熱伝達率(h) | W/m ² ・K | <input type="text"/> | 自然対流中の水の熱伝達率範囲の最高値* |
| デブリの温度(T ₂) | ℃ | 約 400 | V-1-8-1 別添 2 8. 添付 8-1 図 8 よりスリット部の初期の温度の包絡値 |
| デブリ接触面積(A ₃) | m ² | <input type="text"/> | 接触面積の不確かさを考慮し、スリット断面積：高さ <input type="text"/> m×幅 <input type="text"/> mの2倍を想定 |
| デブリからの入熱量 | W(J/s) | <input type="text"/> | =hA ₃ (T ₂ -T ₁) T ₁ : 水温度は保守的に安全弁の吹出し圧力(0.67MPa)時の飽和温度 169℃ |

*：最新機械工学シリーズ7「伝熱工学（改訂・SI併記）」，1984

表2 発生蒸気速度の計算

| 項目 | 単位 | 値 | 備考 |
|---------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 比エンタルピー | J/kg | 2,050,000 | 169℃における値(蒸気表より) |
| 比体積 | m ³ /kg | 0.248 | 169℃における値(蒸気表より) |
| 発生蒸気速度 | m ³ /h | <input type="text"/> | =デブリからの入熱量(表1より)×比体積×3600 / 比エンタルピー |

蒸気が発生すると蒸気が水への伝熱を妨げるため実際はもっと速度は遅いが、保守的に発生した蒸気の影響を無視して速度を算出した。

4. 安全弁のベント管への影響について

①安全弁内流路における流速

安全弁内流路における流速は以下となる。

$$V_1 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9.80665 \times 68.0} = 36.6 \text{ m/s}$$

ここで、

V_1 : 安全弁内流路における速度 (m/s)

g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)

H : 圧力 (m) 0.67MPa \approx 68.3m

②安全弁排出ラインにおける流速

$$V_2 = V_1 \cdot (A_1 / A_2) = 36.5 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ m/s}$$

ここで、

V_2 : 安全弁排出ラインにおける流速 (m/s)

A_1 : 安全弁内流路断面積 $A \times 10^{-6}$ (m²)

A_2 : 安全弁排出ライン断面積 (m²)

$\boxed{} A$ Sch80配管 (内径: $\boxed{}$ mm)

$$3.14159 \times (\boxed{} / 2)^2 = \boxed{} \text{ m}^2$$

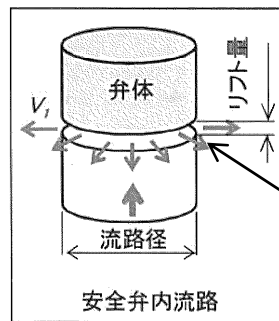


図5 安全弁内流路概略図 (①式)

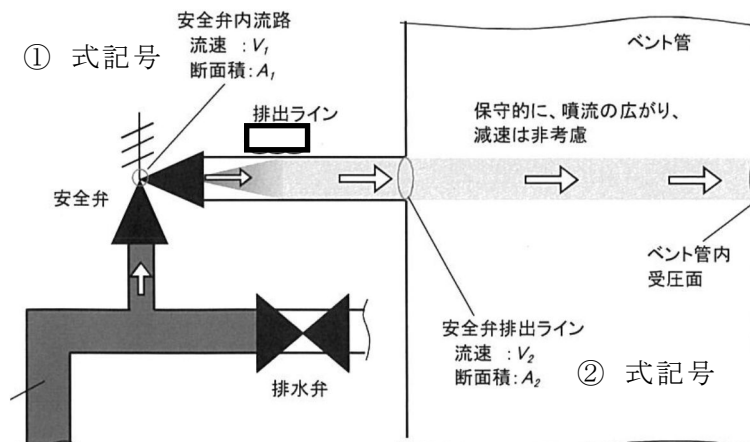


図6 安全弁排出ライン概略図 (②式)

③安全弁の吹出しによるベント管への影響（荷重）

$$F = \rho A_2 V_2^2 = 1000 \times \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ N}$$

ここで、

F : ベント管内面が受ける荷重 (N)

ρ : 密度

④安全弁の吹出しによるベント管への影響（圧力）

安全弁の吹出しによって発生する噴流によりベント管内面が受ける圧力について、保守的に噴流の広がりや減速は考慮せずに、安全弁排出ラインと同じと仮定した。

安全弁の吹出しによりベント管内側が受ける圧力

$$P = F/A_2 = \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ Pa} = \boxed{} \text{ kPa}$$

P : 噴流による水圧 (Pa)

噴流による圧力は、ベント管の最高使用圧力 173kPa の $\boxed{}$ %程度であり、ベント管への影響は無い。

なお、本評価では、保守的に噴流の広がりや減速を考慮していないが、実際にはベント管内側に到達するまでに流体は減速するとともに、流れが広がり受圧面積が大きくなるため、ベント管内面が受ける圧力は大幅に小さくなる。

また、安全弁が吹き出すのは短時間であり、時間的な影響も小さい。

5. 安全弁作動時の吹出し反動力による配管設計への配慮について

安全弁作動時の吹出し反動力の配管への影響については、配管解析時の安全弁自重を入力する質点に吹出し反動力値を入力し、ペDESTAL排水系の配管が健全であるように設計する。【図書番号 V-3-9-2-2-5-2 の荷重として含む】

飽和蒸気を内包する場合の安全弁動作時における吹出し反動力 F_f （水平方向）

$$\begin{aligned} F_f &= W_a \cdot g \cdot \sqrt{\{kT_1 / (k+1) M\} / 274} \\ &= \boxed{} \times 9.80665 \times \sqrt{\boxed{} \times 473 / \{(\boxed{} + 1) \times 18.02\}} / 274} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ [N]} \end{aligned}$$

F_f : 水平方向の反動力 [N] {JIS B8210(1994)より}

W_a : 吹出し量 $\boxed{}$ [kg/h]

k : 断熱指数 $\boxed{}$

T_1 : 流体の温度 200°C = 473 [K]

M : 流体の分子量 18.02

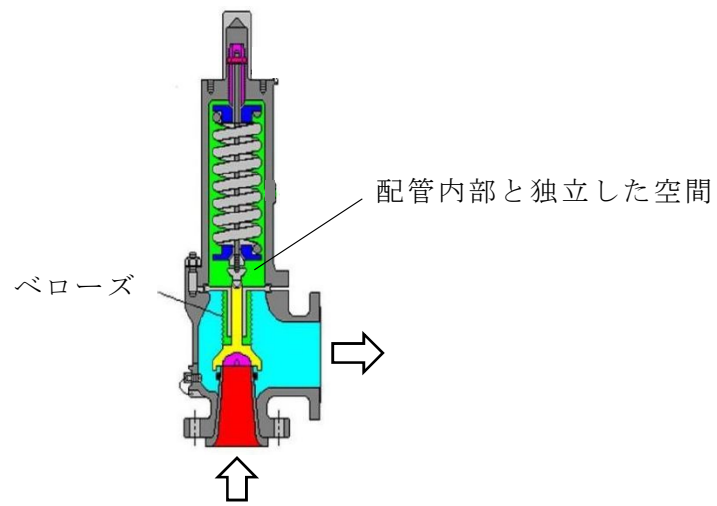


図 7 安全弁構造概略図