

## ポンプ等における機能喪失高さの設定根拠について

## 1. ポンプの機能喪失高さについて

一次系の送水ポンプ，二次系の送水ポンプ等の直動式のポンプについては，駆動軸等のシール部は電動機下端よりも高い位置にある。

また，ポンプ側にフランジ等の接続部がある場合においても，内部の冷却水等が漏れないように水密された構造であることから，没水影響によりポンプ本体が機能喪失することは想定されない。よって，ポンプの機能喪失高さとして，電動機下端を選定する。



一次系の送水ポンプ



一次系の予備循環ポンプ



二次系の送水ポンプ



浄水ポンプ

## 2. 排風機の機能喪失高さについて

排風機については，ファンケーシングの接続部等について，当該箇所が電動機下端よりも低い位置にある場合は，最も低い位置にある箇所の下端を機能喪失高さとして評価する。

なお，コーキング処置等の水密処理を対策として行う場合については，その効果を期待できるものとする。



セル換気系排風機



槽類換気系排風機

電気ケーブルの溢水影響評価に係る敷設状況調査例  
(高放射性廃液貯蔵場 (HAW))

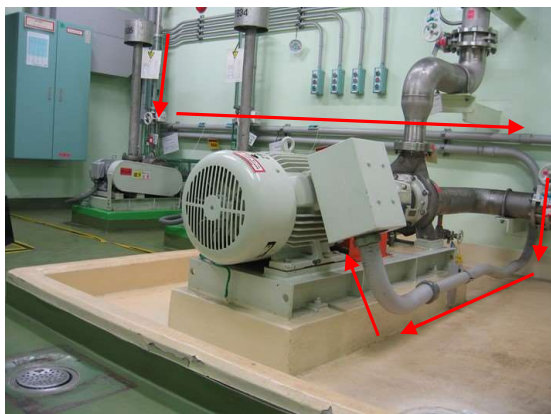
○一次系の送水ポンプ

通路 (G358) のケーブルトレイ(高さ約 2.5 m)から一次系の送水ポンプがある熱交換機室に電線管を通じてケーブルが敷設されており、電動機下端よりも高い位置にある一次系の送水ポンプの端子箱に給電されている。



○一次系の予備循環ポンプ

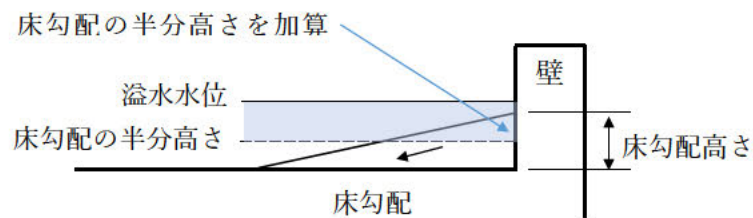
通路 (G358) のケーブルトレイ(高さ約 2.5 m)から一次系の予備循環ポンプがある圧縮空気製造室 (G353) に電線管を通じてケーブルが敷設されている。一部、電線管及び可とう電線管内のケーブルが電動機下端よりも低い位置にあるが、没水のおそれがある部分にケーブル接続部はなく、一次系の予備循環ポンプの端子箱に給電されている。



## 溢水影響評価における床勾配及びゆらぎの考え方について

## 1. 床勾配の考え方

床勾配がある区画については、床勾配分を考慮する。溢水水位の評価において、床勾配高さの半分を評価区画全体の溢水水位に付加することで、保守的となるよう評価する。



## 2. ゆらぎ影響の考慮について

溢水水位の評価において、溢水の流入、人のアクセス等により一時的な水位変動（ゆらぎ）が生じることが考えられる。このため、溢水水位と溢水防護対象設備の機能喪失高さとの比較においては、ゆらぎ影響の考慮として算出した溢水水位に対して一律 3 cm の裕度を確保する。

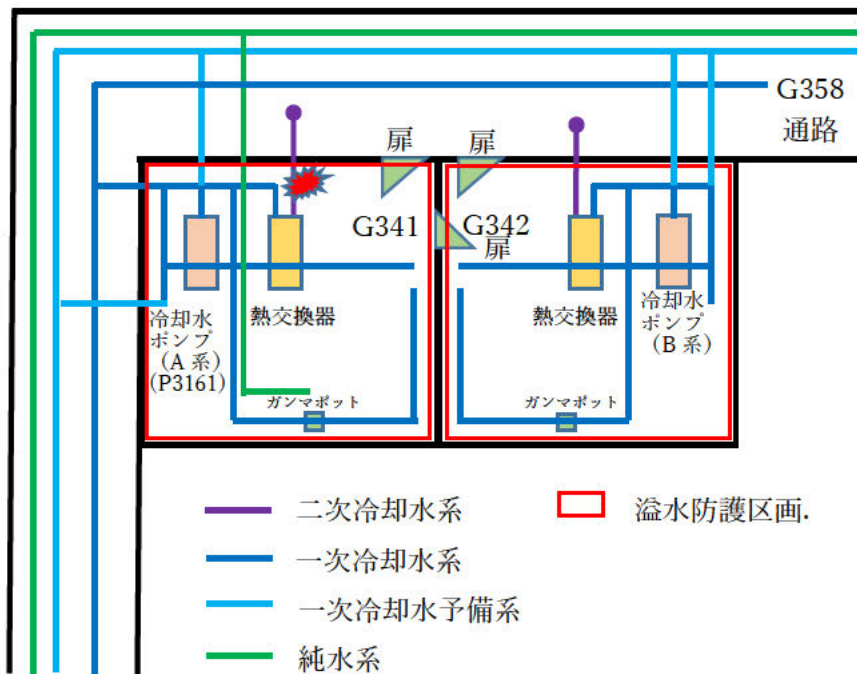
- ・機能喪失高さ－ゆらぎ影響(3 cm) ≧ 溢水水位

## 一次系の送水ポンプの溢水影響評価について

HAW施設の崩壊熱除去機能に係る防護対象設備である一次系の送水ポンプについて、配管の想定破損を溢水源とした一次系の送水ポンプへの溢水影響評価を以下に示す。

## 1. 溢水防護区画の設定

一次系の送水ポンプに対する防護区画を以下のとおり設定している。防護区画は溢水防護対象設備が設置されている部屋を単位としている。



## 2. 想定破損による溢水影響について

## 2. 1 防護区画内(G341)での溢水

## ① 溢水源及び溢水量の設定

一次系の送水ポンプ(P3161)が設置されている熱交換器室(G341)において、溢水源となり得る配管は、以下の4種類である。各システムの保有水量については、配管の寸法と長さから算出した値に10%の裕度を見込んで評価している。

二次冷却水系については、3ループ中の1ループを常時使用している。単一の破損を想定する想定破損において、1ループの破損を想定した溢水量で評価している。



熱交換機室(G341)における溢水源となる配管

| 系統       | 保有水量(m <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------------|
| 一次冷却水系   | 23.4                  |
| 一次冷却水予備系 | 13.1                  |
| 二次冷却水系   | 28.4                  |
| 純水系      | 14.2                  |

② 防護区画内(G341)での溢水影響評価

熱交換器室(G341)での溢水量(28.4 m<sup>3</sup>)に対して、防護区画の滞留面積(19.85 m<sup>2</sup>)(区画面積(22.2 m<sup>2</sup>)から基礎面積(2.35 m<sup>2</sup>)を除いた値)に床勾配を考慮して評価した熱交換器室 (G341) での没水高さは 1.47 m と評価され、ポンプの電動機下端位置で測定した値にゆらぎ影響を考慮した機能喪失高さ(0.27 m)を上回ることから、2系統あるポンプの1系統が機能喪失すると評価する。

③ 2系統の同時機能喪失に係る溢水影響評価

一次系の送水ポンプについては、2系統が別々の防護区画に設置されていることから、2系統が同時に機能喪失するおそれがあるか評価する上で、熱交換器室 (G341) から隣接する区画 (熱交換器室 (G342)) への流出を考慮し影響評価する。

熱交換器室 (G341) から熱交換器室 (G342) への流出を考慮する他、ここでは熱交換器室 (G341) と隣接する通路 (G358) の境界扉には開口部(通気口)があることから、通路 (G358) への流出を考慮し評価を行っている。熱交換器室(G341)での溢水量 (28.4 m<sup>3</sup>)に対して、熱交換器室 (G341)、熱交換器室 (G342) 及び通路 (G358) を合わせた区画の滞留面積(317.5 m<sup>2</sup>) に床勾配を考慮して評価した没水高さは 0.13 m と評価され、通路 (G358) への流出を考慮することで機能喪失には至らないと評価できる。

## 蒸気影響評価について

## 1. はじめに

高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）の溢水影響評価において、蒸気配管の破損による蒸気影響に伴い安全機能を有する制御盤、動力分電盤等の溢水防護対象に影響を及ぼすことが考えられる。

このため、蒸気配管の破損形態に応じた蒸気流出流量及び蒸気漏えいによる防護対象区画内の温度上昇を評価するための評価方法について示した。

## 2. 蒸気漏えい源及び流出量の想定

## 2.1 蒸気漏えい源の想定

蒸気影響評価では、蒸気漏えいの影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる蒸気漏えいを漏えい源とし、機器の破損形態に応じて評価する。

「溢水影響評価ガイド」の 2.1.1 項「溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水」において、配管の破損は内包する流体のエネルギーに応じて「評価ガイド」付録 A で分類された①高エネルギー配管及び②低エネルギー配管の 2 種類に分類する。ここで、運転温度 95°C以上の蒸気配管は高エネルギー配管に該当する。

高エネルギー配管について、以下の破損を想定する。

- ・ターミナルエンド部：完全全周破断
- ・許容応力  $S_a$  に対して発生応力  $S_n$  が  $0.4S_a < S_n \leq 0.8S_a$  の場合：貫通クラック
- ・許容応力  $S_a$  に対して発生応力  $S_n$  が  $0.8S_a < S_n$  の場合：完全全周破断

ターミナルエンド部での蒸気漏えいに対する影響緩和対策としてターミナルエンドカバーの設置による蒸気漏えいの影響緩和対策を行う場合においては、ターミナルエンドカバーと配管外径との隙間の開口面積からの蒸気漏えいを想定する。

また、地震起因により、廃止措置計画用設計地震動に対して応力評価による健全性が確保されない配管については完全全周破断を想定する。

## 2.2 蒸気流出流量の算出

蒸気漏えい流量は、以下の計算式から配管内の過熱蒸気の圧力に応じて算出する。流出流量は、蒸気配管圧力の 1/2 乗及び蒸気漏えい源の流出想定部位の面積に比例する。

・ Murdock-Bauman 相関式

$$G = 45.25 (p1/v1)^{1/2}$$

ここで、

$G$  : 質量流量 [ $lb_m/ft^2 \cdot s$ ]

$p$  : 入口(管内)圧力 [ $psia$ ]

$v$  : 入口(管内)比容積 [ $ft^3/lb_m$ ]

SI 単位系からヤードポンド法への換算は以下の式による。

$$p1 [psia] = (p1 [MPa] + 1.01325 \times 0.1) \times 145.04$$

$$v1 [ft^3/lb_m] = v1 [m^3/kg] / 0.06243 [ (kg/m^3) / (lbm/ft^3) ]$$

$$G [kg / mm^2 \cdot s] = G \times 0.453592 / 92903 [lbm/ft^2 \cdot s]$$

### 3. 蒸気漏えい影響評価

#### 3.1 蒸気漏えい範囲の設定

蒸気漏えい影響評価では 1 つの防護区画を評価区画としており、同一評価区画内（同一部屋内）では、蒸気は均一に拡散するとしている。

蒸気漏えい防護区画と蒸気漏えい源がある区画の相対関係から、以下の 2 ケースに分類される。

- ①：防護区画と蒸気漏えい源が同一区画にある場合は、当該評価区画単独で評価する。
- ②：防護区画と蒸気漏えい源が異なる区画で、開口部等を通じた蒸気拡散の影響範囲にある場合は、各評価区画の合計を 1 つの評価区画として評価する。

#### 3.2 評価区画の部屋容積

蒸気漏えい評価の対象区画となる部屋の容積は、以下の計算とする。

- ・ 配置図の各フロアの床面積と高さから蒸気漏えい区画の全容積を算出する。
- ・ 全容積に部屋の内部構造物占有状態を考慮して、0.7 を乗じて有効容積を算出する。

なお、温度評価においては断熱を仮定し、蒸気の顕熱は全て空気の温度上昇に用いられ、建家の壁・床、機器等への放熱はない保守的な条件で評価する。

## 溢水時に外圧（水頭圧）を受ける機器の健全性評価

## 1. 概要

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟において内部溢水が発生した場合には、廃気処理室（A011）及び廃気処理室（A012）でそれぞれ約 55 cm及び約 38 cmの溢水高さとなる結果を得ている。

廃気処理室が溢水したことにより、没水する可能性のある機器は、冷却器（G41H70）、冷却器（G41H93）、加熱器（G41H80/H81）及び加熱器（G41H84/H85）であり、没水高さは、冷却器（G41H70）及び冷却器（G41H93）が約 8 cm、加熱器（G41H80/H81）及び加熱器（G41H84/H85）が約 16 cmとなる。これら機器は、没水時に水頭圧による外圧が作用するため、外圧を受けた場合の機器（胴部及び鏡部）の健全性を確認する。

評価の結果、これらの機器は、没水時に外圧が作用したとしても健全性を維持できることを確認した。

## 2. 評価対象

## (1) 冷却器（G41H70）

SUS304 製の円筒形の胴部（外径φ512 mm、厚さ 6 mm、長さ 3600 mm）で構成され、胴部の最高使用温度が 55℃である（図-1 参照）。

## (2) 冷却器（G41H93）

SUS304 製の円筒形の胴部（外径φ267.4 mm、厚さ 6.5 mm、長さ 2900 mm）で構成され、胴部の最高使用温度が 55℃である（図-2 参照）。

## (3) 加熱器（G41H80/H81）

SUS304 製の円筒形の胴部（外径φ362 mm、厚さ 6 mm、長さ 1680 mm）で構成され、胴部の最高使用温度が 90℃である（図-3 参照）。

## (4) 加熱器（G41H84/H85）

SUS304 製の円筒形の胴部（外径φ462 mm、厚さ 6 mm、長さ 1680 mm）で構成され、胴部の最高使用温度が 190℃である（図-4 参照）。

## 3. 評価方法

外圧を受ける各機器の厚さが、日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2012年）」に定められている設計上必要な厚さを上回ることを確認する。

## (1) 設計上必要な胴の厚さ

冷却器（G41H70）、冷却器（G41H93）、加熱器（G41H80/H81）及び加熱器（G41H84/H85）ともに、厚さが外径の 0.1 倍以下である。なお、冷却器（G41H70）及び冷却器（G41H93）は、胴部まで没水することはないものの、没水したものとして評価を行う。外圧を受ける胴の設計上必要な厚さは以下の式より求められる。



$$t_1 = 3P_e D_o / 4B$$

ここで、

$t_1$  : 胴の設計上必要な厚さ (mm)

$P_e$  : 外面に受ける最高の圧力 (MPa)

没水高さ約 0.08 m 水頭圧 :  $7.82 \times 10^{-4}$  (MPa)

没水高さ約 0.16 m 水頭圧 :  $1.56 \times 10^{-3}$  (MPa)

$D_o$  : 胴部の外径 (mm)

$B$  : 最高使用温度における材料規格 Part3 第 3 章 図 1 から図 20 までにより求めた値

#### (2) 設計上必要な鏡板の厚さ

さら形鏡板の場合で、中高面（凸側の面）に圧力をうける鏡板の計算上必要な厚さは以下の式より求められる。

$$t_2 = P_e R / B$$

ここで、

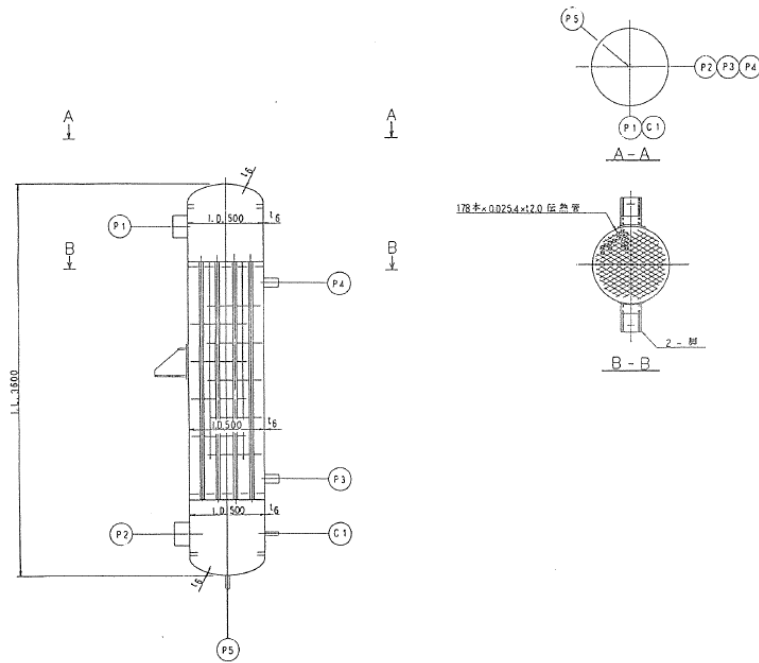
$t_2$  : 鏡板の設計上必要な厚さ (mm)

$R$  : 鏡板の中央部の外半径 (mm)

#### 4. 評価結果

評価の結果を表-1 に示す。冷却器 (G41H70)、冷却器 (G41H93)、加熱器 (G41H80/H81) 及び加熱器 (G41H84/H85) の胴部（円筒形）及び鏡板の厚さは、溢水により外圧（静水圧）が作用した場合の設計必要厚さ以上であり、内部溢水が発生した場合においても機器の健全性を維持できる。

以上

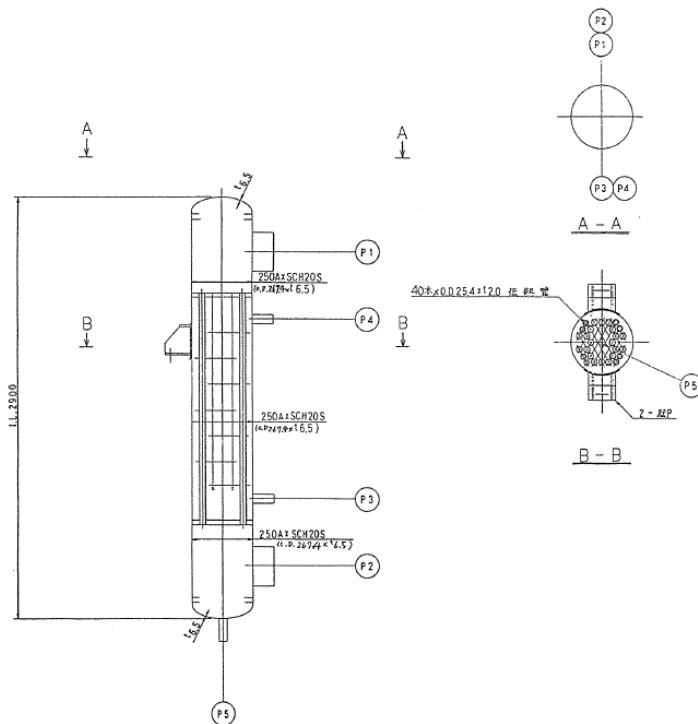


| 基数                          | 1         |   |
|-----------------------------|-----------|---|
| 設置場所                        | A011      |   |
| 伝熱面積(m <sup>2</sup> )       | 36.2      |   |
| 設計条件                        |           |   |
| 流媒体名                        | 冷却側       | 加熱側                                       |
| 容積 (kg/m <sup>3</sup> )     | 1000      | —   |
| 最高使用圧力(kg/cm <sup>2</sup> ) | 6.0       | 常圧0.35                                    |
| 最高使用温度(℃)                   | 55        | 125                                       |
| 伝熱圧力(kg/cm <sup>2</sup> )   | 3.0       | 0.53                                      |
| 高さしろ(mm)                    | 0         | 0   |
| 腐食試験                        | —         | —   |
| 設計伝熱係数                      | —         | FP  |
| 物質伝達係数                      | —         | <10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s (DPR) |
| 管内伝熱                        | —         | —   |
| 材質                          | 本体 SUS304 | 本体 SUS304                                 |
| 配管                          | SUS304    | 伝熱管 SUS304TB                              |
| 配管ボルト                       | M20 × 2   |   |

| 管台一覧表 |         |           |         |    |                  |
|-------|---------|-----------|---------|----|------------------|
| 符号    | 名称      | 寸法        | 材質      | 仕様 | 規格               |
| P1    | 加熱入口    | 30A×SC20S | SUS304P | —  | G41-H-20-F-1     |
| P2    | 加熱出口    | 30A×SC20S | SUS304P | —  | G41-H-20-F-1     |
| P3    | 冷却水入口   | 50A×SC20S | SUS304P | —  | G41-Ou-20-50-Y-1 |
| P4    | 冷却水出口   | 50A×SC20S | SUS304P | —  | G41-Ou-20-50-Y-1 |
| P5    | ドレン     | 25A×SC20S | SUS304  | —  | —                |
| C1    | PIC.PM± | 15A×SO10  | SUS304  | —  | —                |

※ 接続配管との取合寸法を示すものである。

図-1 冷却器 (G41H70) の概要図

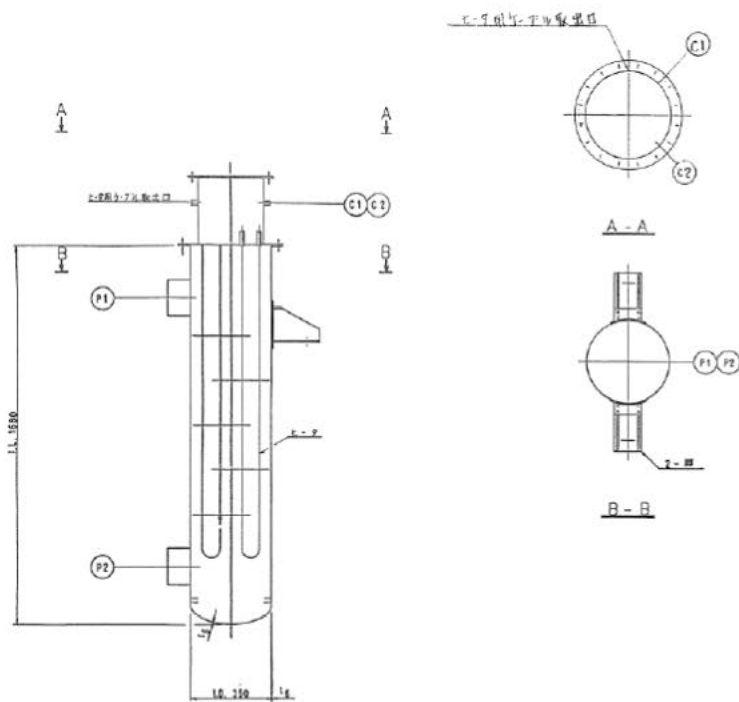


| 基数                          | 1           |  |
|-----------------------------|-------------|--|
| 設置場所                        | A011        |  |
| 伝熱面積(m <sup>2</sup> )       | 6.6         |  |
| 設計条件                        |             |  |
| 流媒体名                        | 冷却側         | 加熱側                                      |
| 容積 (kg/m <sup>3</sup> )     | 1000        | —  |
| 最高使用圧力(kg/cm <sup>2</sup> ) | 6.0         | 大気圧                                      |
| 最高使用温度(℃)                   | 55          | 260                                      |
| 伝熱圧力(kg/cm <sup>2</sup> )   | 3.0         | 冷却水側                                     |
| 高さしろ(mm)                    | 0           | 0  |
| 腐食試験                        | —           | —  |
| 設計伝熱係数                      | —           | FP                                       |
| 物質伝達係数                      | —           | <10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s (伝熱) |
| 管内伝熱                        | —           | —  |
| 材質                          | 本体 SUS304TP | 本体 SUS304TP                              |
| 配管                          | SUS304      | 伝熱管 SUS304TB                             |
| 配管ボルト                       | M20 × 2     |  |

| 管台一覧表 |       |            |         |    |                  |
|-------|-------|------------|---------|----|------------------|
| 符号    | 名称    | 寸法         | 材質      | 仕様 | 規格               |
| P1    | 加熱入口  | 150A×SC20S | SUS304P | —  | G41-H-20-150-Y-1 |
| P2    | 加熱出口  | 100A×SC20S | SUS304P | —  | G41-H-20-100-Y-1 |
| P3    | 冷却水入口 | 50A×SC20S  | SUS304P | —  | G41-Ou-20-50-Y-1 |
| P4    | 冷却水出口 | 50A×SC20S  | SUS304P | —  | G41-Ou-20-50-Y-1 |
| P5    | ドレン   | 25A×SC20S  | SUS304  | —  | —                |

※ 接続配管との取合寸法を示すものである。

図-2 冷却器 (G41H93) の概要図

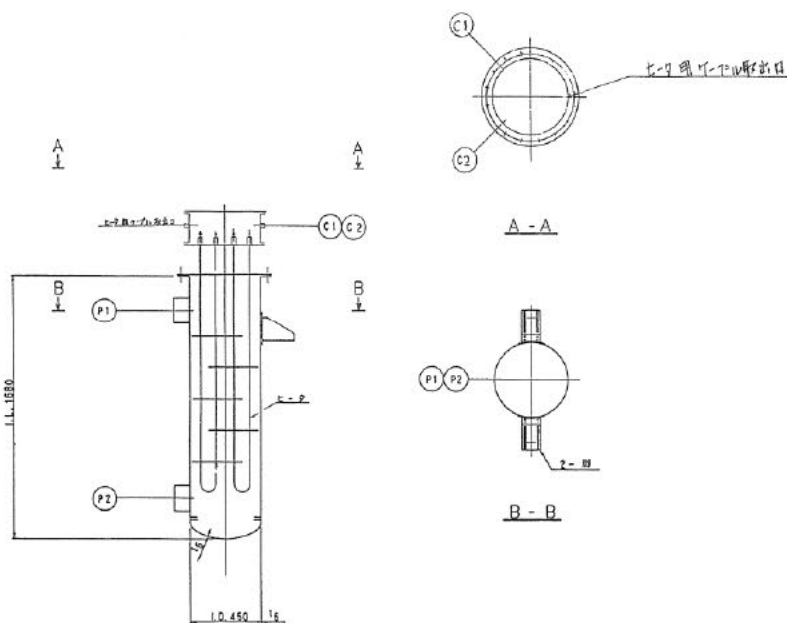


|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 品 名                         | 1                             |
| 図 番                         | A012                          |
| メーカー                        | Daikin                        |
| 設計条件                        |                               |
| 媒体名                         | 蒸気                            |
| 密度 kg/m <sup>3</sup>        | —                             |
| 最高使用圧力 kg/cm <sup>2</sup> G | 0.35                          |
| 最高使用温度 (°C)                 | 99                            |
| 試験圧力 kg/cm <sup>2</sup> G   | 0.53                          |
| 耐食しろ mm                     | 0                             |
| 溶接仕様                        | —                             |
| 材料仕様                        | F P                           |
| 物 質 係 数                     | <10 <sup>-6</sup> × C1 / (°C) |
| 国内仕様                        | —                             |
| 材 質                         | 本体 SUS304, 部 SUS304           |
| 単位寸法                        | M20×2                         |

| 部 品 一 覧 表 |      |          |         |
|-----------|------|----------|---------|
| 符号        | 品 名  | 規 格      | 材 質     |
| P1        | 蒸気入口 | 150×3200 | SUS304P |
| P2        | 蒸気出口 | 150×3200 | SUS304P |
| C1        | "    | —        | —       |
| C2        | "    | —        | —       |

※ 継ぎ目の取付寸法を示すものである。

図-3 加熱器 (G41H80/H81) の概要図



|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 品 名                         | 1                             |
| 図 番                         | A012                          |
| メーカー                        | Daikin                        |
| 設計条件                        |                               |
| 媒体名                         | 蒸気                            |
| 密度 kg/m <sup>3</sup>        | —                             |
| 最高使用圧力 kg/cm <sup>2</sup> G | 0.35                          |
| 最高使用温度 (°C)                 | 99                            |
| 試験圧力 kg/cm <sup>2</sup> G   | 0.53                          |
| 耐食しろ mm                     | 0                             |
| 溶接仕様                        | —                             |
| 材料仕様                        | F P                           |
| 物 質 係 数                     | <10 <sup>-6</sup> × C1 / (°C) |
| 国内仕様                        | —                             |
| 材 質                         | 本体 SUS304, 部 SUS304           |
| 単位寸法                        | M20×2                         |

| 部 品 一 覧 表 |      |          |         |
|-----------|------|----------|---------|
| 符号        | 品 名  | 規 格      | 材 質     |
| P1        | 蒸気入口 | 150×3200 | SUS304P |
| P2        | 蒸気出口 | 150×3200 | SUS304P |
| C1        | "    | —        | —       |
| C2        | "    | —        | —       |

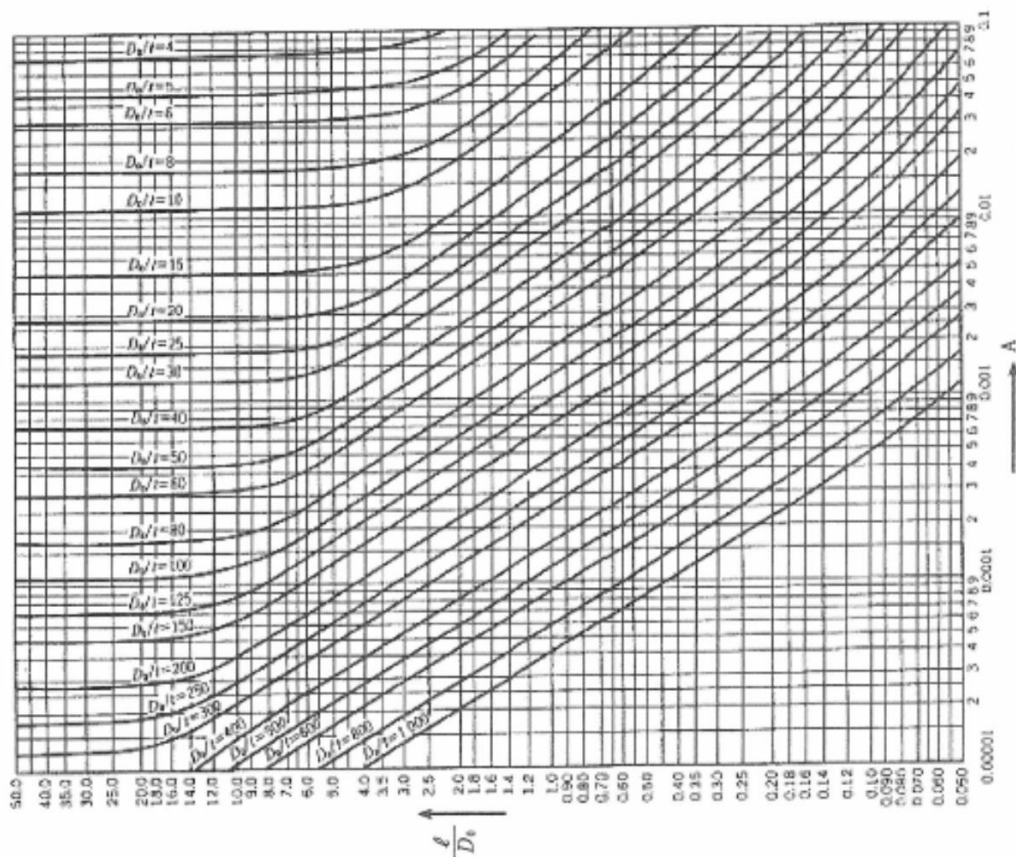
※ 継ぎ目の取付寸法を示すものである。

図-4 加熱器 (G41H84/H85) の概要図

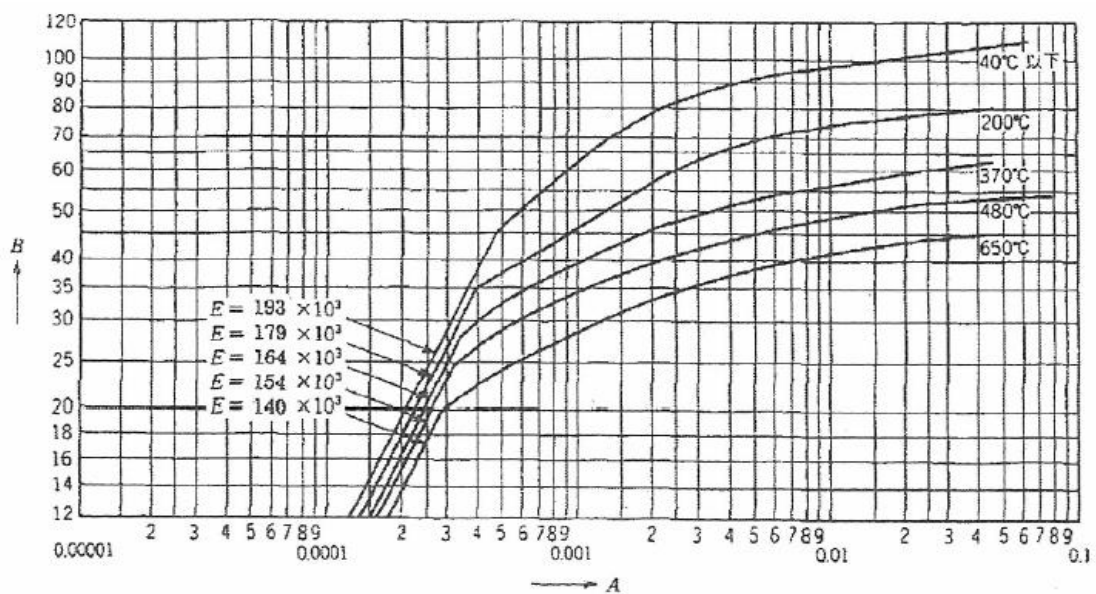
表-1 外圧（静水圧）を受ける各機器（胴部及び鏡板）の設計上必要な厚さ

| 項目                       | 冷却器<br>(G41H70)       | 冷却器<br>(G41H93)       | 加熱器<br>(G41H80/H81)   | 加熱器<br>(G41H84/H85)   | 備考        |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 胴部内径 Di (mm)             | 500                   | 254.4                 | 350                   | 450                   |           |
| 胴部厚さ t (mm)              | 6                     | 6.5                   | 6                     | 6                     |           |
| 胴部長さ $\ell$ (mm)         | 3600                  | 2900                  | 1680                  | 1680                  |           |
| 胴部外径 Do (mm)             | 512                   | 267.4                 | 362                   | 462                   |           |
| 鏡板の中央部の外半径 R (mm)        | 506                   | 236.6                 | 322.58                | 413.03                |           |
| 鏡板の中央部の厚さ $t'$ (mm)      | 6                     | 6.5                   | 6                     | 6                     |           |
| 材質                       | SUS304                | SUS304TP              | SUS304                | SUS304                |           |
| 使用温度 (°C)                | 55                    | 55                    | 90                    | 190                   |           |
| 外面に受ける最大の圧力 Pe (MPa)     | $7.82 \times 10^{-4}$ | $7.82 \times 10^{-4}$ | $1.56 \times 10^{-3}$ | $1.56 \times 10^{-3}$ |           |
| $\ell/Do$                | 7.03                  | 10.85                 | 4.64                  | 3.64                  |           |
| $Do/t$                   | 85                    | 41                    | 60                    | 77                    |           |
| 材料規格 Part3 第3章 図1 読み値 A  | $2.0 \times 10^{-4}$  | $7.5 \times 10^{-4}$  | $5.2 \times 10^{-4}$  | $4.9 \times 10^{-4}$  | 別添資料参照    |
| 材料規格 Part3 第3章 図11 読み値 B | 19                    | 52                    | 44                    | 37                    | 別添資料参照    |
| 胴の設計上必要な厚さ $t_1$ (mm)    | 0.02                  | 0.01                  | 0.01                  | 0.02                  | 小数第3位を切上げ |
| 鏡板の設計上必要な厚さ $t_2$ (mm)   | 0.03                  | 0.01                  | 0.02                  | 0.02                  | 小数第3位を切上げ |





材料規格 Part3 第3章 図1 外圧チャート (形状に関するもの)



材料規格 Part3 第3章 図11 ステンレス鋼 (SUS304, SUSF304, GSUSF304, GSUS304TP, GSUS304TB, GSUS304B 及び GSUS304HP)

## 配管の応力評価

## 1. 概要

溢水影響評価において応力評価により溢水源としない配管の評価について、廃止措置計画用設計地震動による耐震性評価及び「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（以下「ガイド」という。）に基づく想定破損評価を以下に示す。

## 2. 評価方針

### 2.1 耐震性評価方針

耐震性評価により溢水源としない配管の廃止措置計画用設計地震動に対する構造強度の評価は、有限要素法（FEM）解析又は振動数基準の定ピッチスパン法により行い、当該設備に、廃止措置計画用設計地震動が作用した際に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

配管の構造強度の評価は、本体の一次応力について実施する。許容応力は、クラス 3 管に対する一次応力制限が規定されている「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984 重要度分類・許容応力編」に準拠し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に基づき、供用状態 Ds における許容応力（0.9 Su：弾塑性挙動の範囲に入ることとは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力）を用いる。

### 2.2 想定破損評価方針

想定破損において溢水源としない配管の評価は、有限要素法（FEM）解析により行い、ガイドの附属書 A「流体を内包する配管の破損による溢水の詳細評価手法について」に基づき、当該設備に、(1/3)Sd 地震動が作用した際に発生する最大応力を評価し、完全全周破断や貫通クラックを想定する必要を判断する。最大応力の評価は、ガイドに基づき一次応力＋二次応力 Sn について実施する。対象となる配管はクラス 3 又は非安全系の配管であることから、ガイドに基づき許容応力にはクラス 3 管に対する許容応力（0.4 Sa）を用いる。

$$S_n = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b) + i_2M_c}{Z} \leq 0.4 S_a$$

## 3. 一般事項

### 3.1 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984(日本電気協会)

- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012(日本機械学会)
- (5) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007(日本機械学会)
- (6) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012(日本機械学会)
- (7) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NC1-2005/2007(日本機械学会)
- (8) 原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド

### 3.2 評価部位

耐震性評価に係る配管の構造強度評価は、本体の一次応力について実施する。想定破損評価は、本体の一次応力+二次応力について実施する。

### 3.3 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力、熱及び地震力による応力を組み合わせる。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせる。

### 3.4 許容応力

配管の耐震性評価及び想定破損評価の許容応力を、表-3-1 に示す。

表-3-1 配管の応力分類と許容応力

| 評価     | 応力分類              | 許容応力                   | 備考  |
|--------|-------------------|------------------------|---|
| 耐震性評価  | 一次応力              | 0.9 Su<br>(1.5×0.6 Su) | 弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力                   |
| 想定破損評価 | 一次応力<br>+<br>二次応力 | 0.4 Sa                 | 設計許容応力の40%以下であれば、十分応力が低い状態にあるため応力的に破損する可能性がないという考え方に基づく許容応力 |

### 3.5 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に規定された値を用いる。使用する減衰定数を表-3-2 に示す。



表-3-2 使用する減衰定数

| 評価対象設備     | 減衰定数 (%) |      |
|------------|----------|------|
|            | 水平方向     | 鉛直方向 |
| 配管 (保温材なし) | 0.5      | 0.5  |
| 配管 (保温材あり) | 1.0      | 1.0  |

### 3.6 設計用地震力

FEM解析 (スペクトルモーダル法) により評価を行う場合は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に基づき、廃止措置計画用設計地震動又は $(1/3)S_d^*$ による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (3波包絡, 周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いる。

振動数基準の定ピッチスパン法により評価を行う場合は、配管据付最上階での静的解析用震度 (床応答最大加速度 $\times 1.2$ ) を用いる。

※ 想定破損評価に用いる $(1/3)S_d$  は、耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重で評価した $S_d-D$ 波の床応答に $1/3$ を乗じて求めたものとする。

### 3.7 地震荷重による発生応力の計算方法

有限要素法 (FEM) による発生応力の計算方法は、スペクトルモーダル法を用いる。

振動数基準の定ピッチスパン法による発生応力の計算方法は、直管部を両端単純支持はりにモデル化し、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の配管の発生応力の計算式を用いる。

## 4. 評価結果に基づく対応

本評価結果より破断や貫通クラックの発生を想定すべき配管については、溢水影響評価の結果に応じて防護対象設備への影響が無視できない場合に補強等を行い、破断や貫通クラックが生じないように対策を行う。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に係る  
配管（浄水，純水及び消火水）の応力評価

## 1. 概要

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管（浄水，純水及び消火水）の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時又は（1/3）Sd地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

## 2. 設計用地震力

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管（浄水，純水，消火水配管）の解析用の床応答スペクトルは，それぞれの据付階のものを包絡して用いた。使用した床応答スペクトルを表-2-1及び図-2-1～2-16に示す。

※ 想定破損評価に用いる（1/3）Sdは，耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重で評価したSd-D波の床応答に1/3を乗じて求めたものとする。

表-2-1 使用した解析用の床応答スペクトル

| 評価対象設備<br>(モデルNo.)                        | 水平方向  | 鉛直方向  |
|---|---|---|
| 浄水配管<br>(KG83-655)                        | 解析用の床応答スペクトル<br>(PHF, RF, 3F, 2F,<br>減衰定数 1.0%) | 解析用の床応答スペクトル<br>(PHF, RF, 3F, 2F,<br>減衰定数 1.0%) |
| 浄水配管<br>(KG83-656)                        | 解析用の床応答スペクトル<br>(PHF, RF,<br>減衰定数 1.0%)         | 解析用の床応答スペクトル<br>(PHF, RF,<br>減衰定数 1.0%)         |
| 浄水配管<br>(KG83-679)                        | 解析用の床応答スペクトル<br>(2F, 1F, B1F,<br>減衰定数 1.0%)     | 解析用の床応答スペクトル<br>(2F, 1F, B1F,<br>減衰定数 1.0%)     |
| 純水配管<br>(KG99-001)<br>消火水配管<br>(KG99-002) | 解析用の床応答スペクトル<br>(RF, 3F,<br>減衰定数 0.5%)          | 解析用の床応答スペクトル<br>(RF, 3F,<br>減衰定数 0.5%)          |

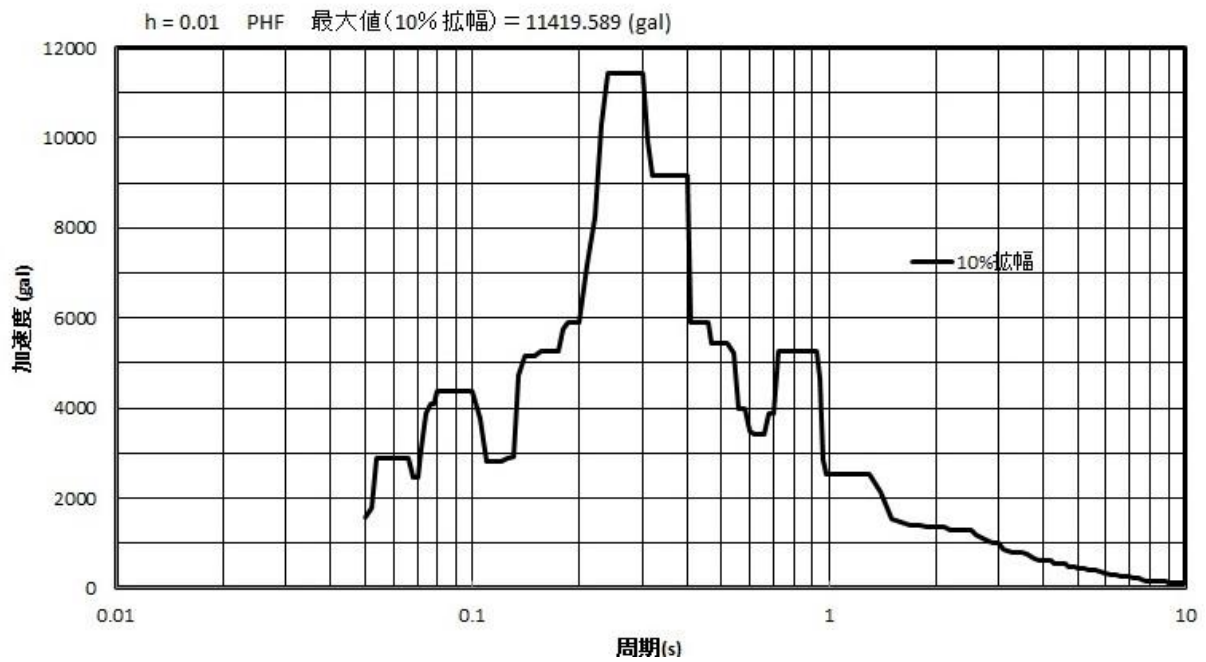


図-2-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，PHF，減衰定数 1.0%）

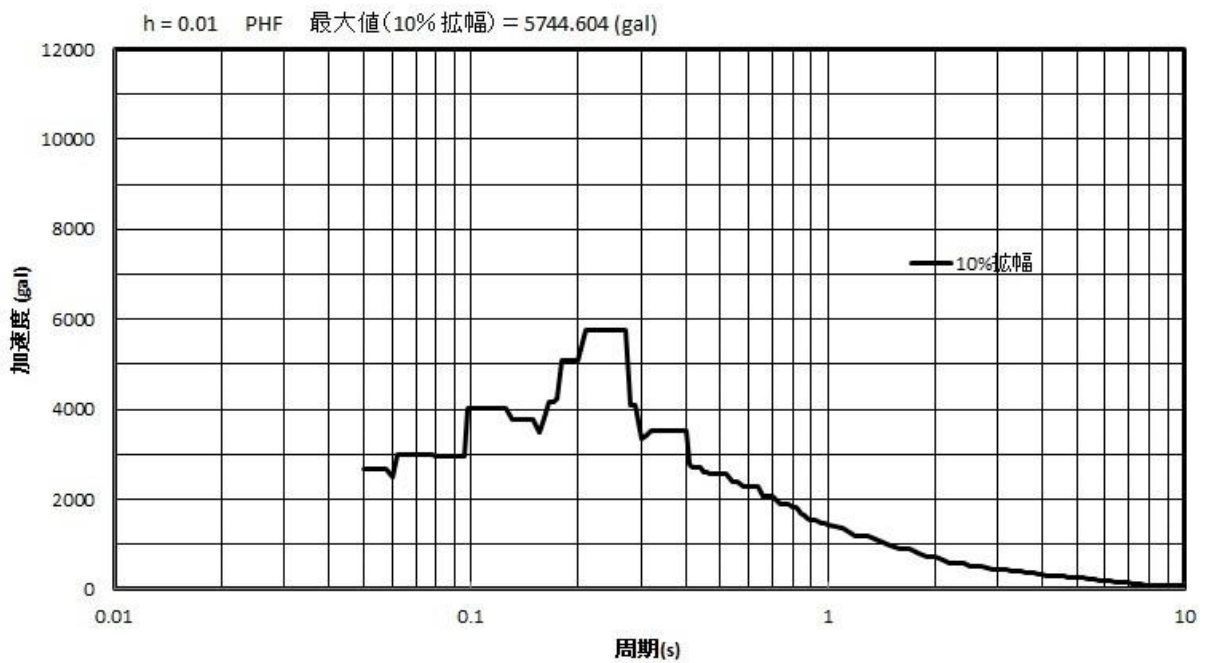


図-2-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，PHF，減衰定数 1.0%）



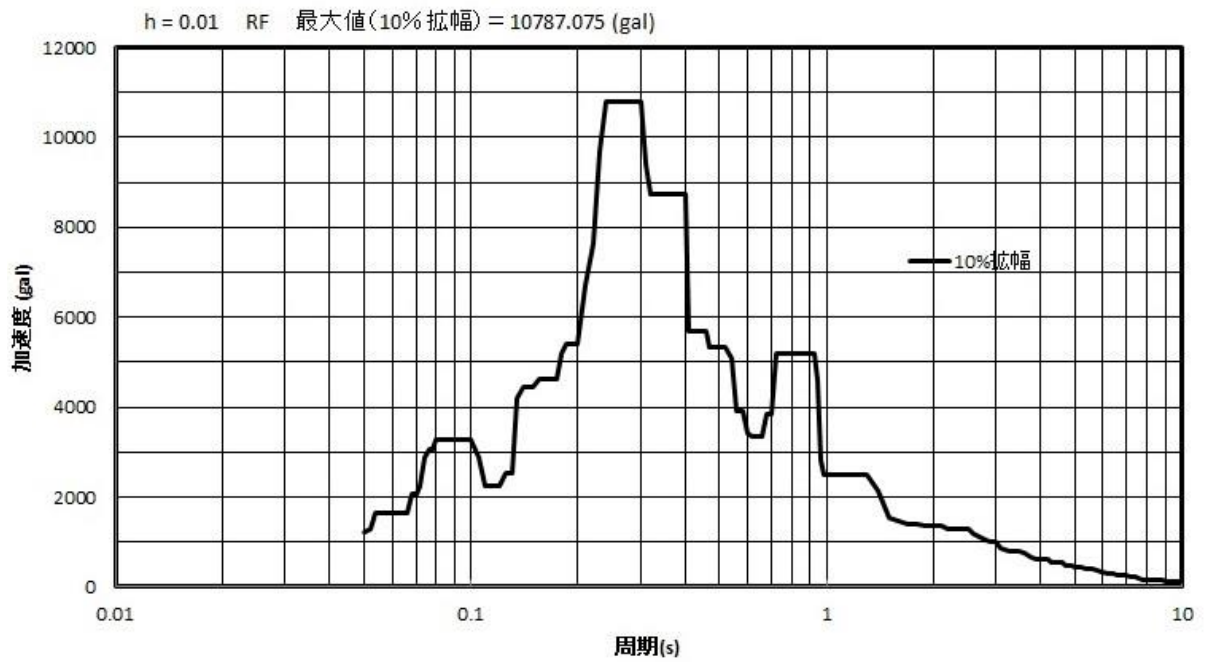


図-2-3 解析用の床応答スペクトル（水平方向，RF，減衰定数 1.0%）

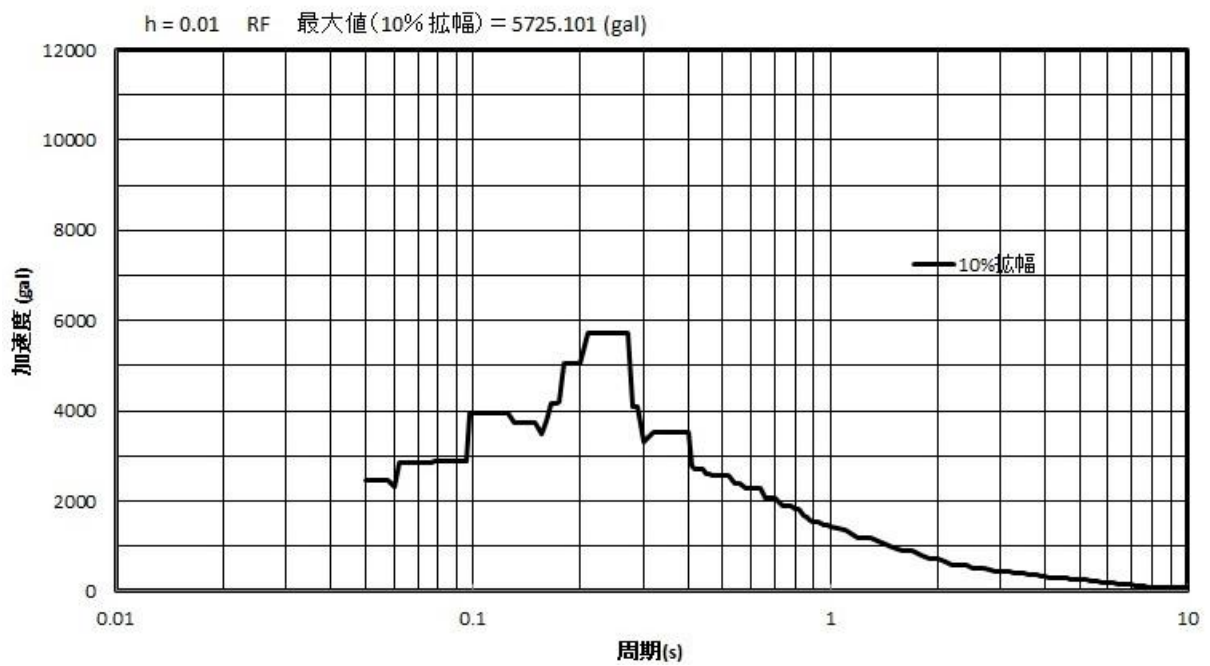


図-2-4 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，RF，減衰定数 1.0%）

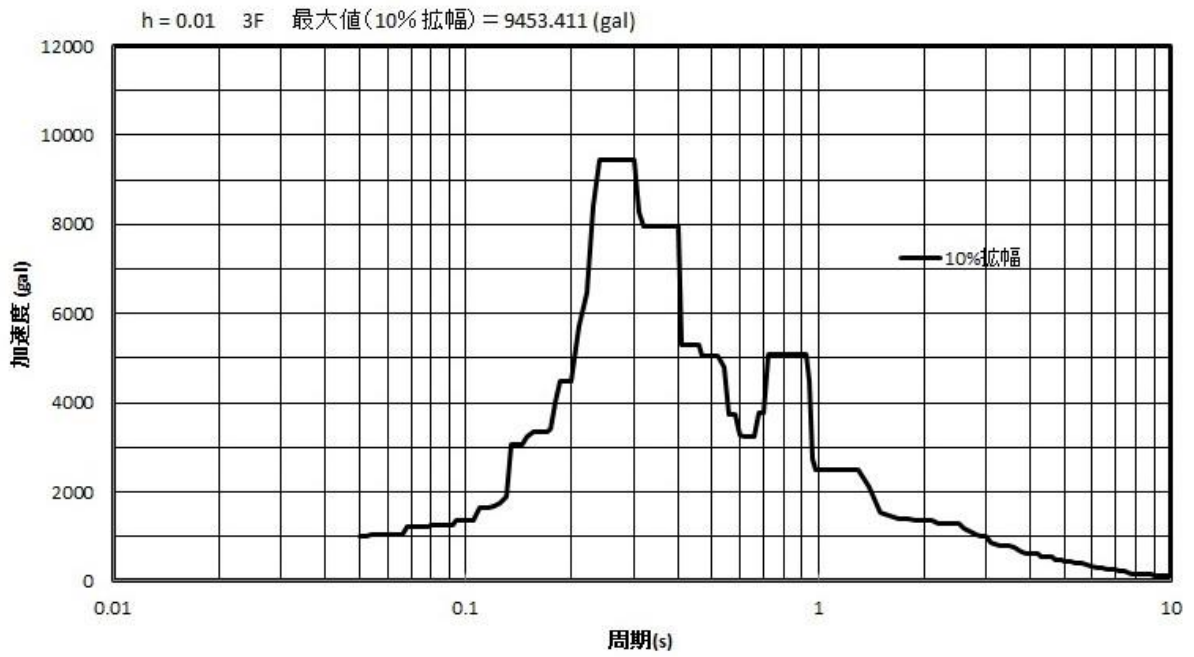


図-2-5 解析用の床応答スペクトル（水平方向，3F，減衰定数 1.0%）

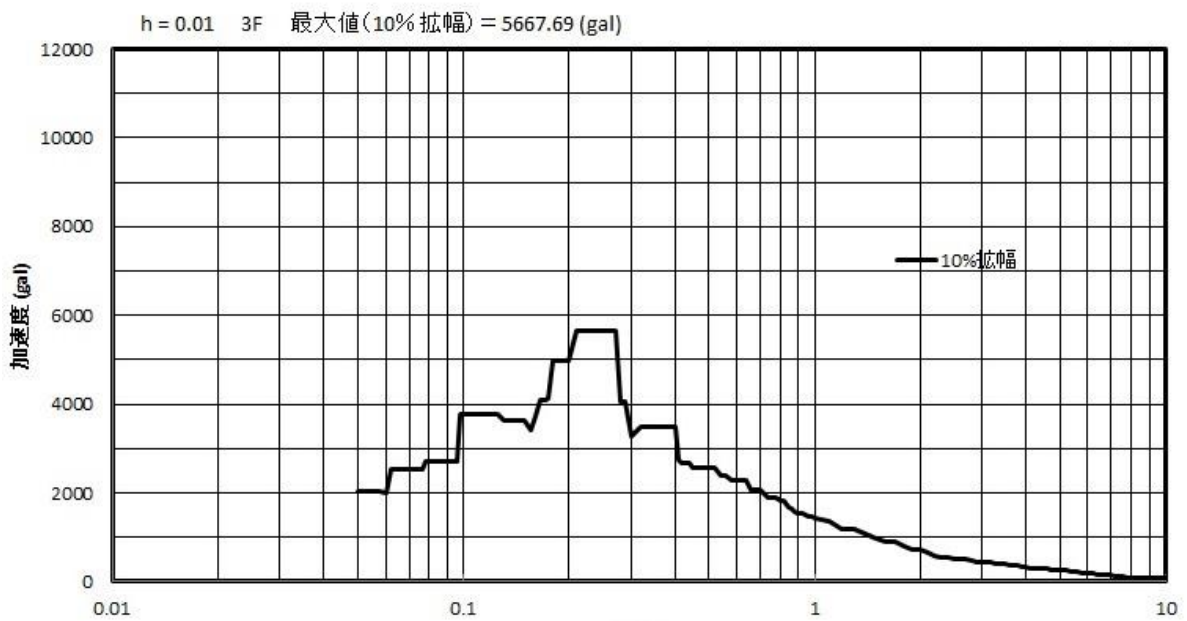


図-2-6 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，3F，減衰定数 1.0%）

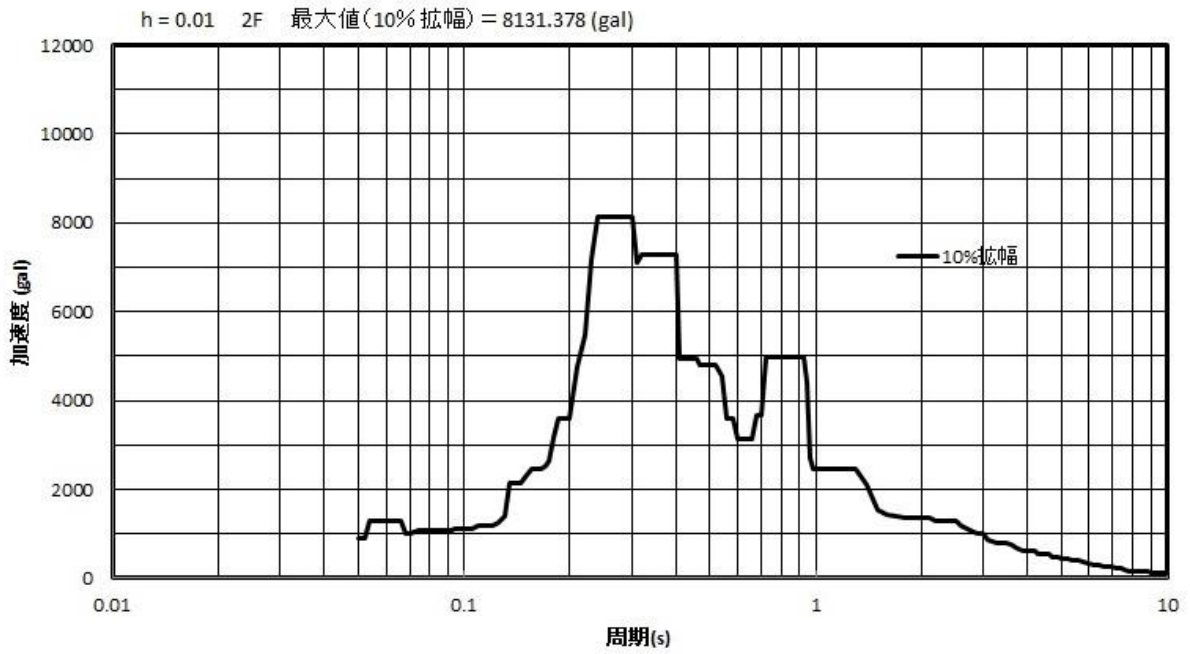


図-2-7 解析用の床応答スペクトル（水平方向，2F，減衰定数 1.0%）

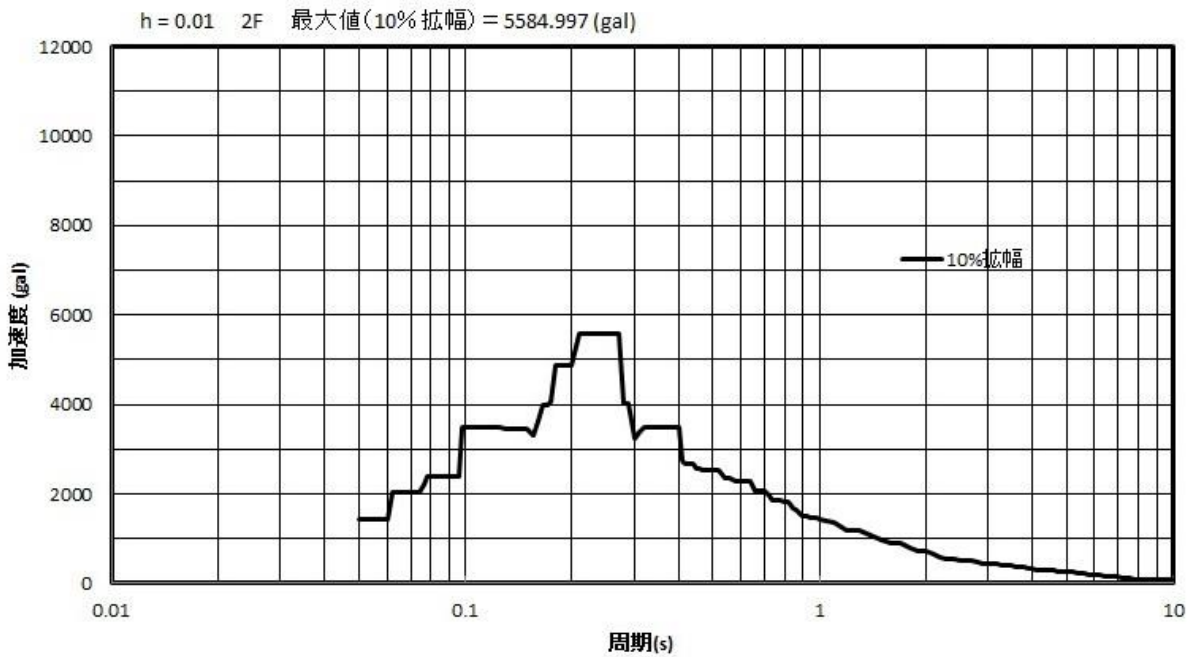


図-2-8 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，2F，減衰定数 1.0%）

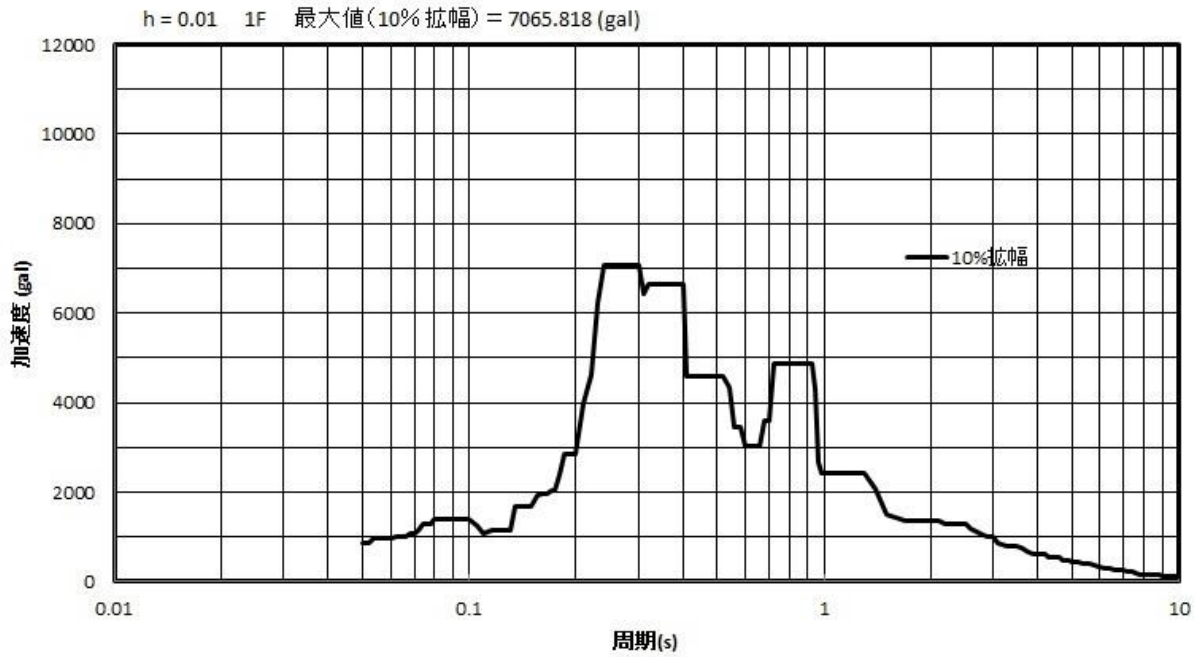


図-2-9 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 1F, 減衰定数 1.0%)

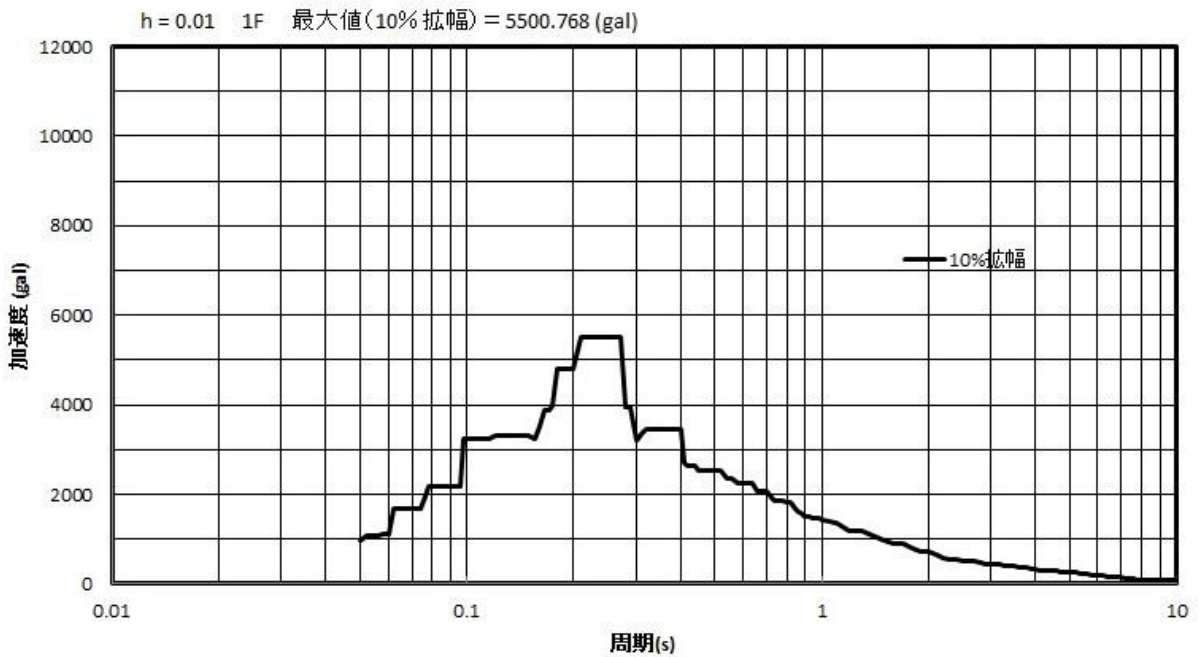


図-2-10 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 1F, 減衰定数 1.0%)

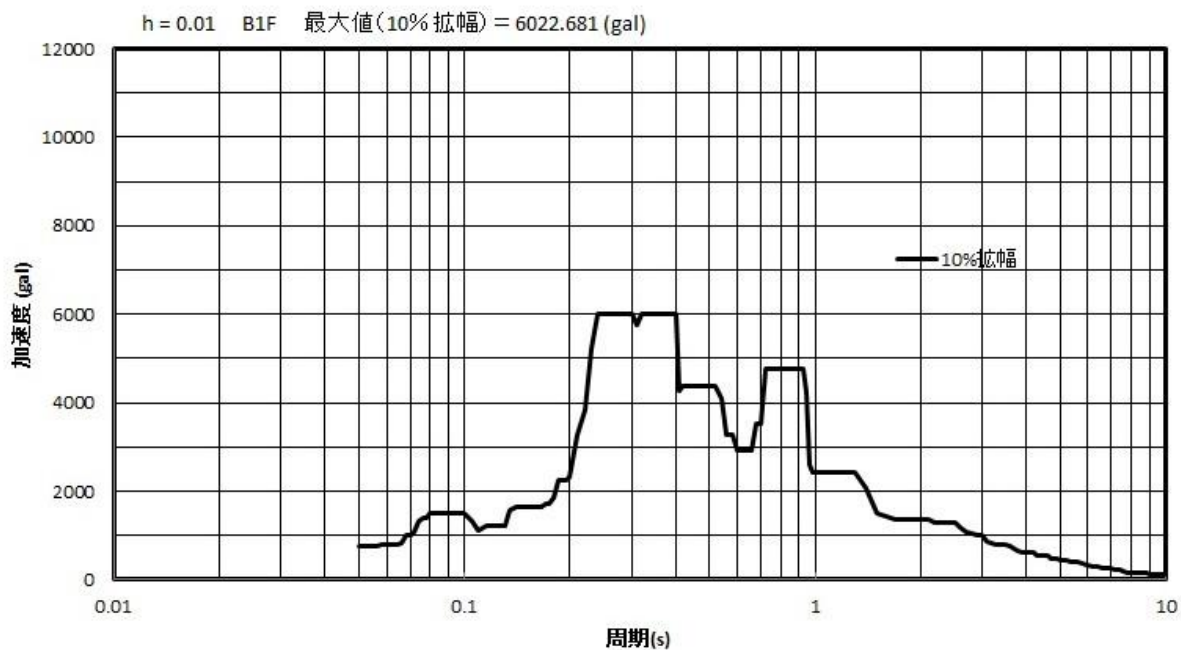


図-2-11 解析用の床応答スペクトル (水平方向, B1F, 減衰定数 1.0%)

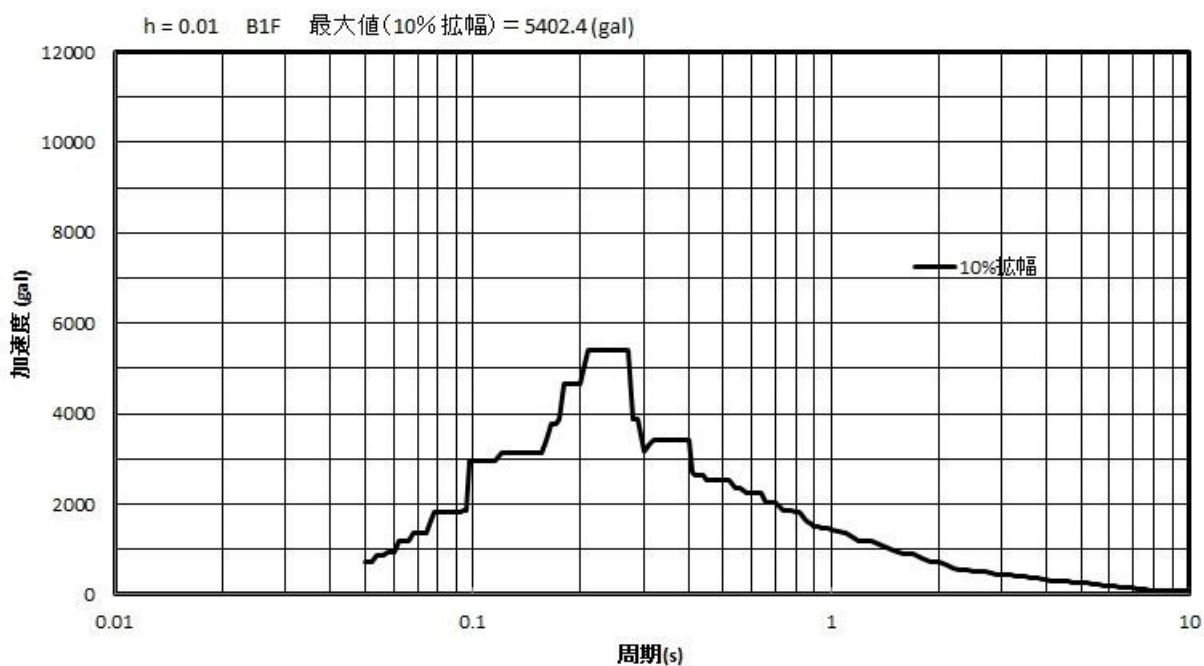


図-2-12 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, B1F, 減衰定数 1.0%)

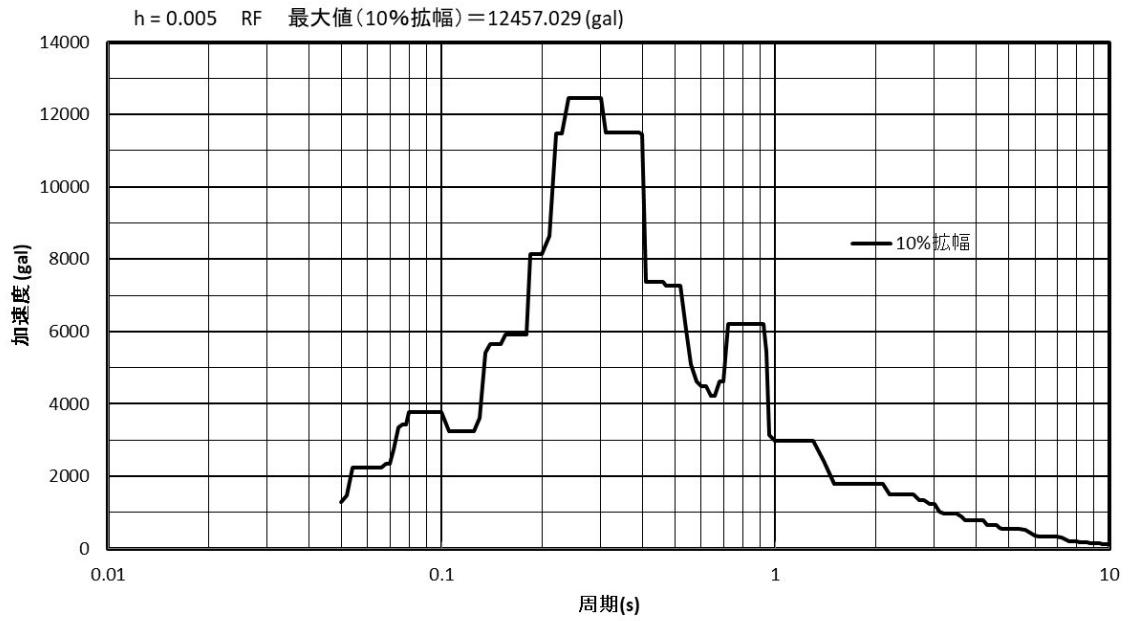


図-2-13 解析用の床応答スペクトル (水平方向, RF, 減衰定数 0.5%)

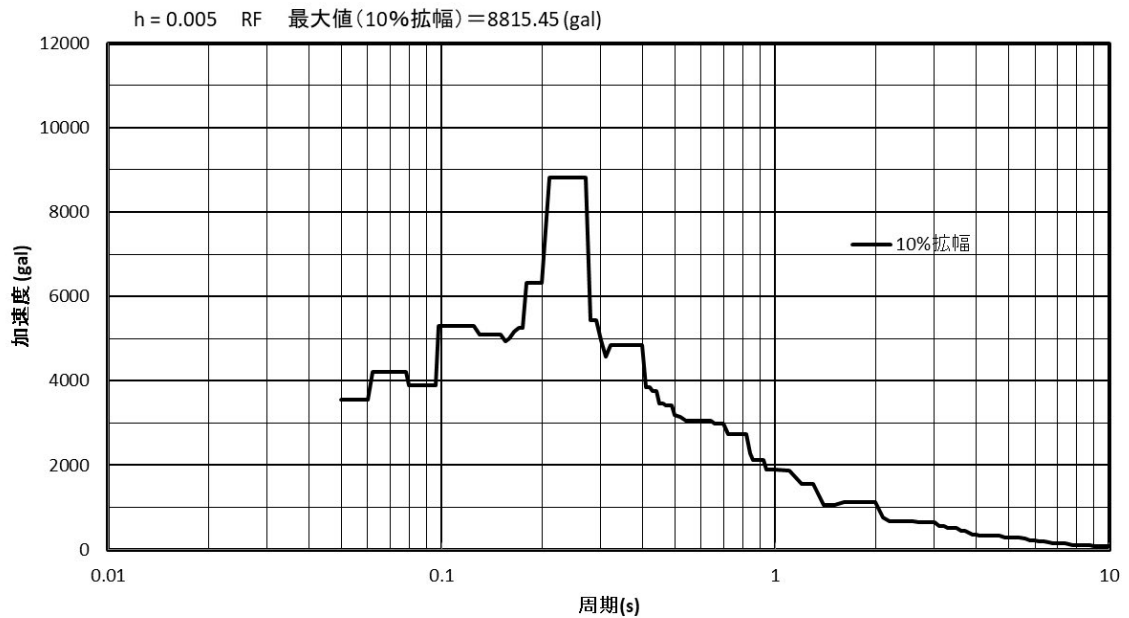


図-2-14 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, RF, 減衰定数 0.5%)



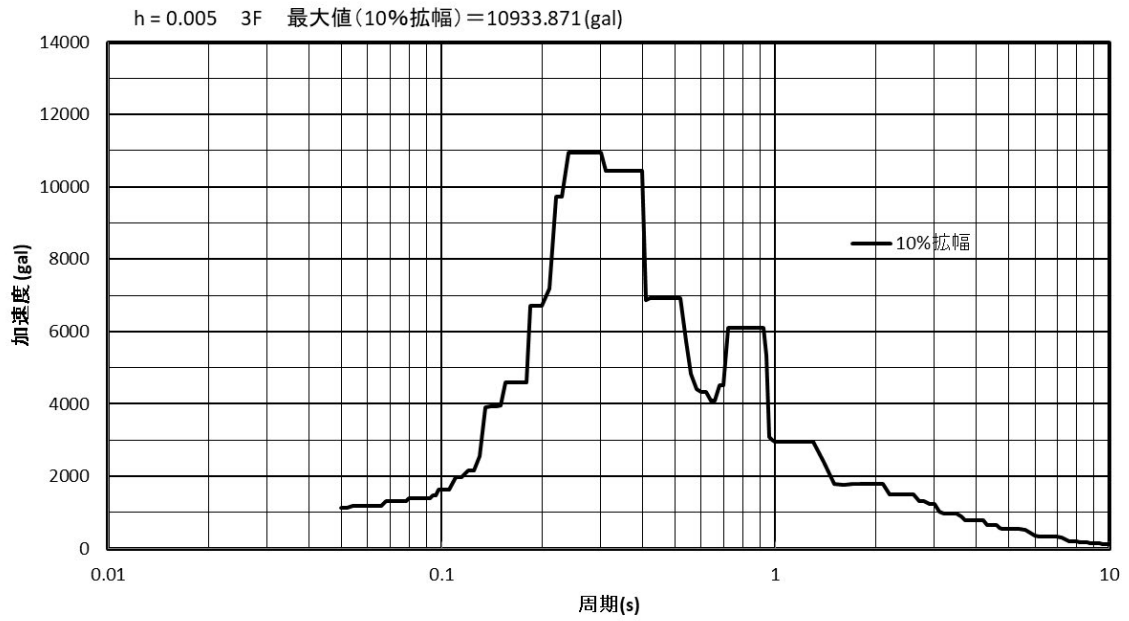


図-2-15 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 3F, 減衰定数 0.5%)

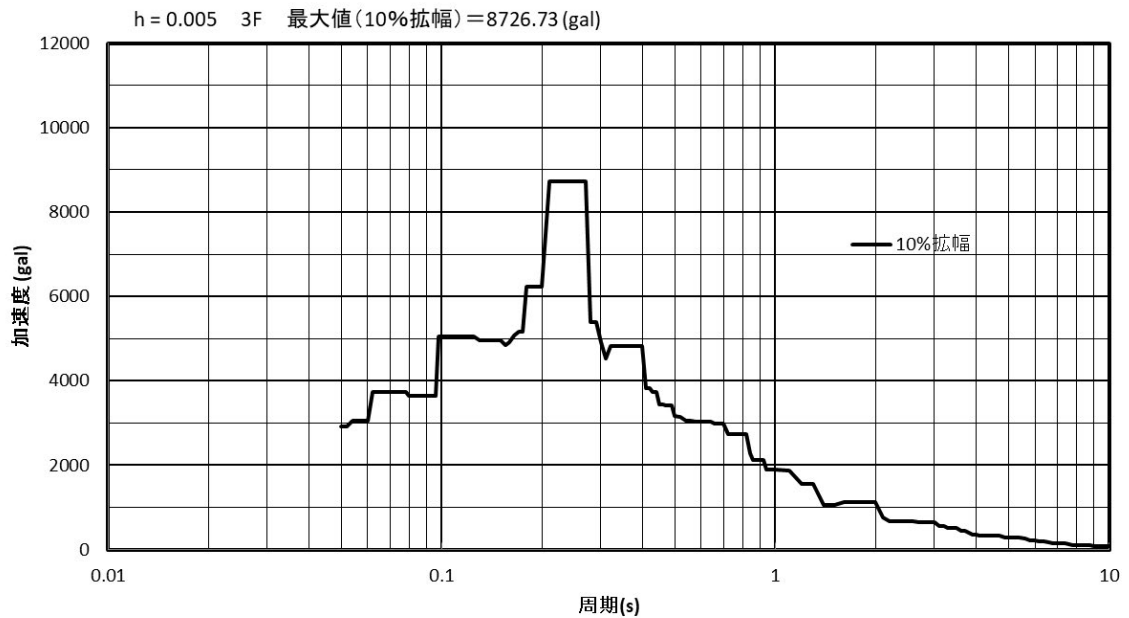


図-2-16 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 3F, 減衰定数 0.5%)

### 3. 計算条件

#### 3.1 解析モデル

配管（浄水，純水及び消火水）の解析モデルを図-3-1～3-5に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

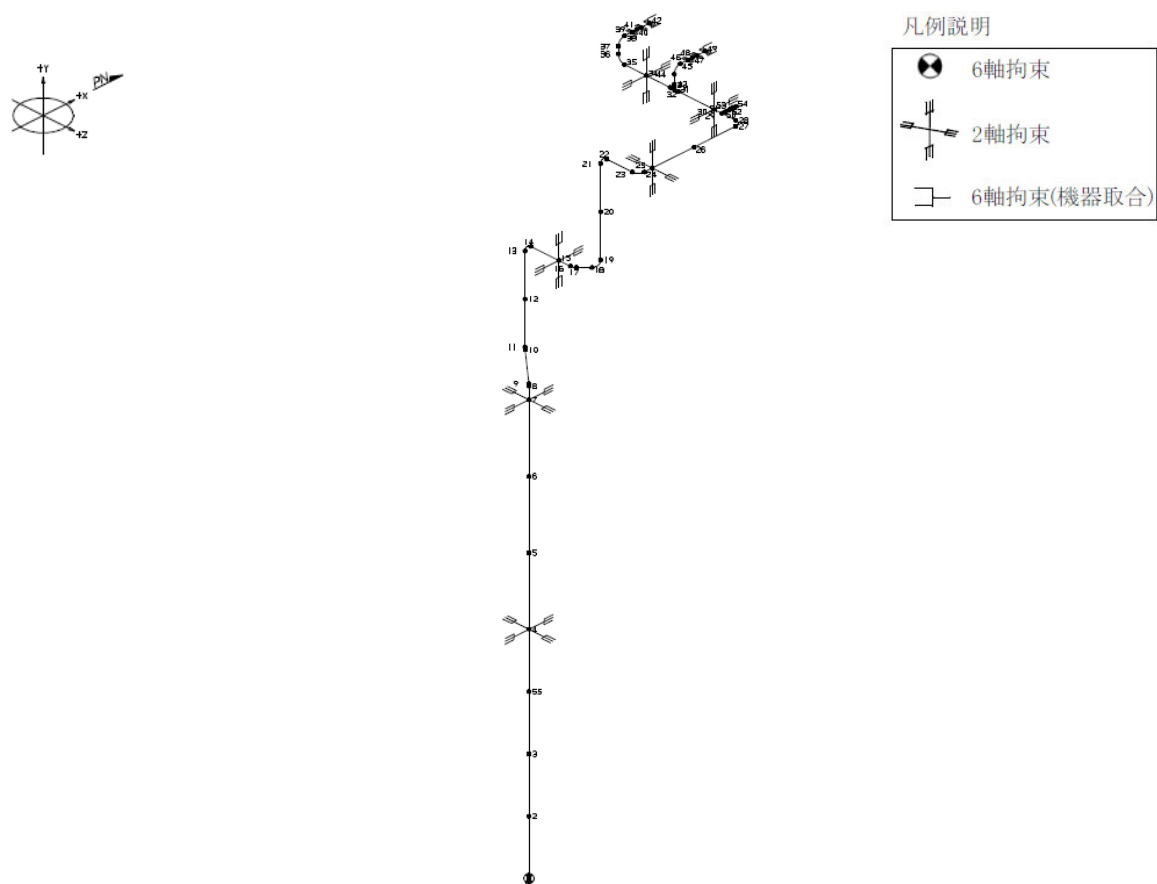


図-3-1 浄水配管（KG83-655）の解析モデル

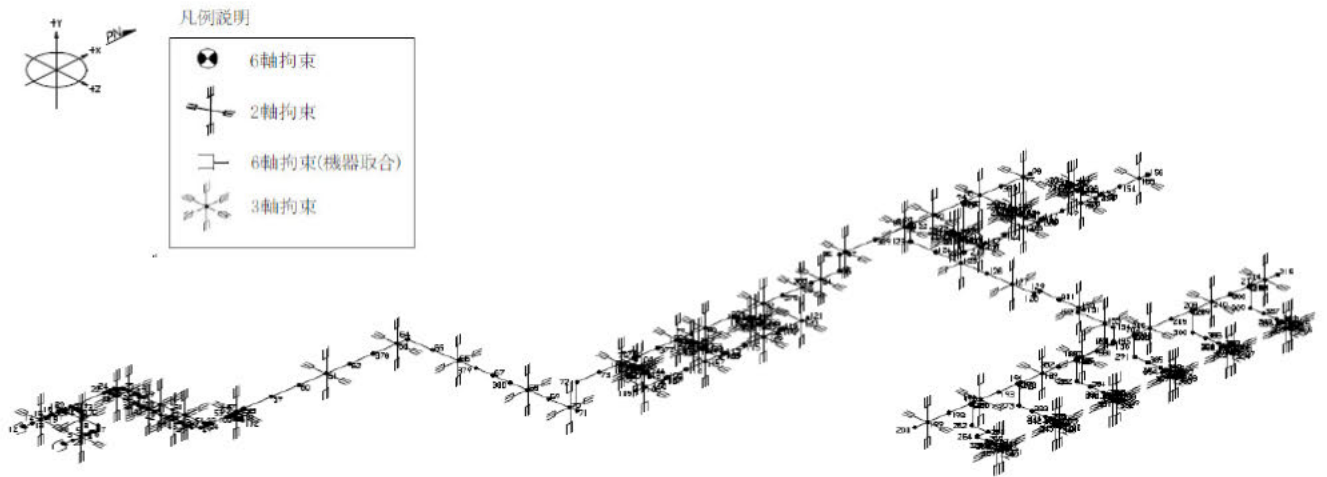


図-3-2 浄水配管 (KG83-656) の解析モデル

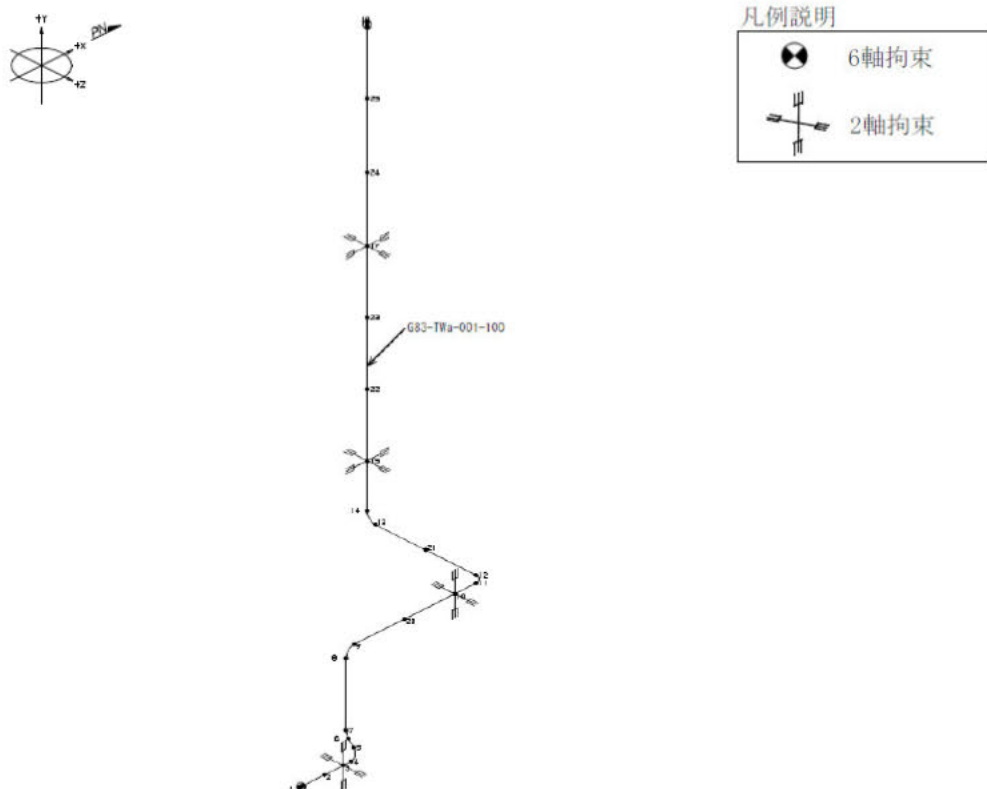


図-3-3 浄水配管 (KG83-679) の解析モデル

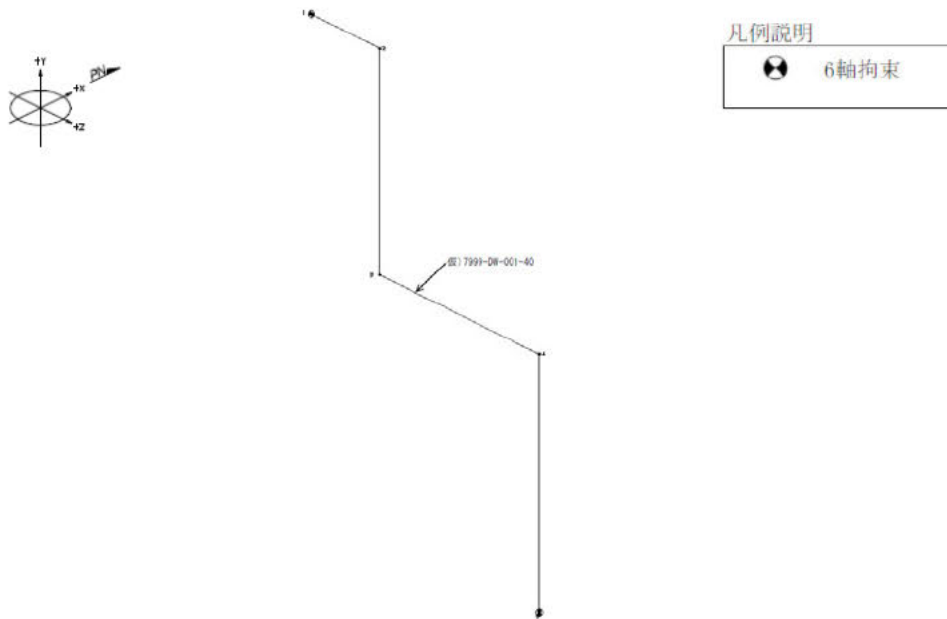


図-3-4 純水配管 (KG99-001) の解析モデル

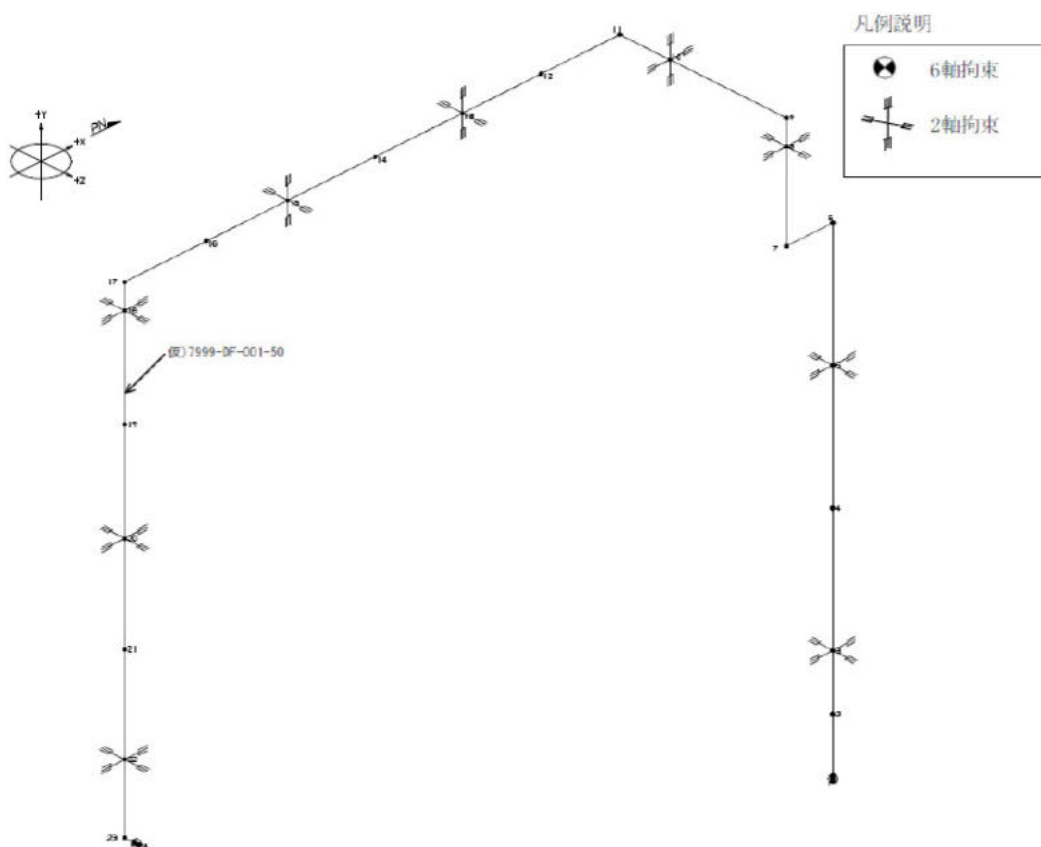


図-3-5 消火水配管 (KG99-002) の解析モデル

### 3.2 諸元

浄水配管，純水配管及び消火水配管の主要寸法・仕様を表-3-1 に示す。

表-3-1 主要寸法・仕様 (1/2)

| 評価対象設備             | 項目        | 値  |
|--------------------|-----------|--|
| 浄水配管<br>(KG83-655) | 機器区分      | Z  |
|                    | 流体名       | 水  |
|                    | 流体の密度     | 1.0 (g/cm <sup>3</sup> )   |
|                    | 材質        | STPG370  |
|                    | 保温有無      | 有  |
|                    | 温度 (設計温度) | 55 (°C)  |
|                    | 圧力 (設計圧力) | 6.0 (kg/cm <sup>2</sup> G)   |
|                    | 呼び径-Sch.  | 15A-Sch. 80<br>100A-Sch. 40  |
| 浄水配管<br>(KG83-656) | 機器区分      | Z  |
|                    | 流体名       | 水  |
|                    | 流体の密度     | 1.0 (g/cm <sup>3</sup> )   |
|                    | 材質        | STPG370  |
|                    | 保温有無      | 有  |
|                    | 温度 (設計温度) | 55 (°C)  |
|                    | 圧力 (設計圧力) | 6.0 (kg/cm <sup>2</sup> G)   |
|                    | 呼び径-Sch.  | 15A-Sch. 80<br>25A-Sch. 40<br>40A-Sch. 40<br>50A-Sch. 40<br>100A-Sch. 40 |
| 浄水配管<br>(KG83-679) | 機器区分      | Z  |
|                    | 流体名       | 水  |
|                    | 流体の密度     | 1.0 (g/cm <sup>3</sup> )   |
|                    | 材質        | STPG370  |
|                    | 保温有無      | 有  |
|                    | 温度 (設計温度) | 55 (°C)  |
|                    | 圧力 (設計圧力) | 6.0 (kg/cm <sup>2</sup> G)   |
|                    | 呼び径-Sch.  | 100A-sch. 40   |

表-3-1 主要寸法・仕様 (2/2)

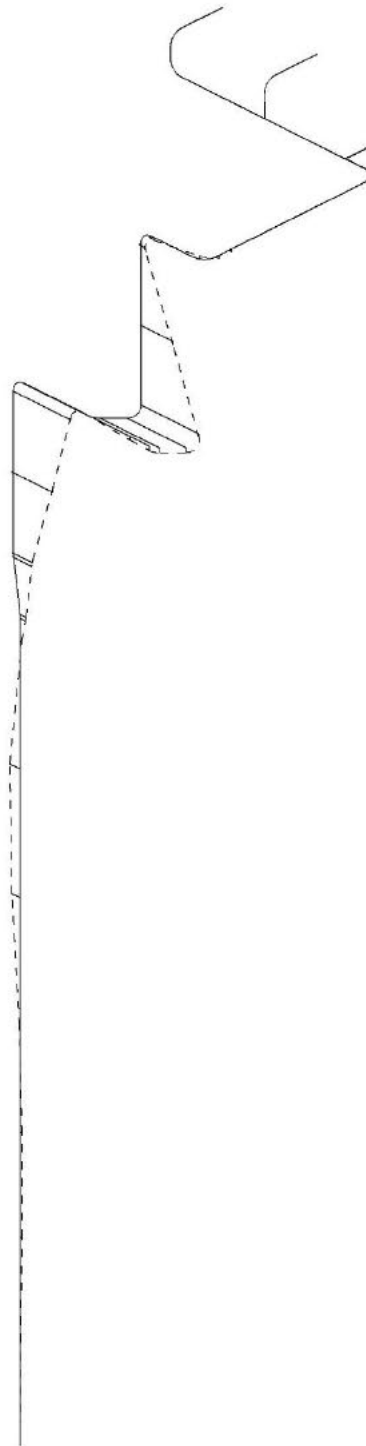
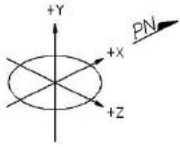
| 評価対象設備              | 項目        | 値                        |
|---------------------|-----------|--------------------------|
| 純水配管<br>(KG99-001)  | 機器区分      | Z                        |
|                     | 流体名       | 水                        |
|                     | 流体の密度     | 1.0 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|                     | 材質        | SUS304                   |
|                     | 保温有無      | 無                        |
|                     | 温度 (設計温度) | 55 (°C)                  |
|                     | 圧力 (設計圧力) | : 0.75 (MPa)             |
|                     | 呼び径-Sch.  | 40A-Sch. 20S             |
| 消火水配管<br>(KG99-002) | 機器区分      | Z                        |
|                     | 流体名       | 水                        |
|                     | 流体の密度     | 1.0 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|                     | 材質        | SGP                      |
|                     | 保温有無      | 無                        |
|                     | 温度 (設計温度) | 55 (°C)                  |
|                     | 圧力 (設計圧力) | 0.75 (MPa)               |
|                     | 呼び径-Sch.  | 50A-SGP                  |

4. 固有周期

浄水配管, 純水配管及び消火水配管の固有周期及び固有モードを図-4-1~4-11 に示す。

1次モード図

固有周期：0.187 (秒)

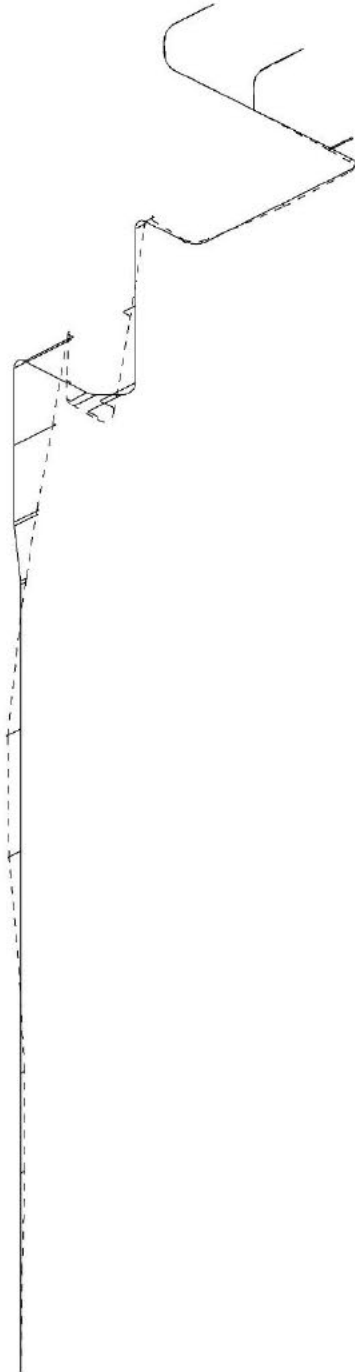
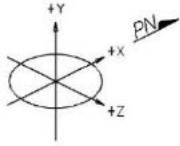


| ST MODE 5.34HZ ( 0.187 SEC )

図-4-1 浄水配管(KG83-655) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.121（秒）



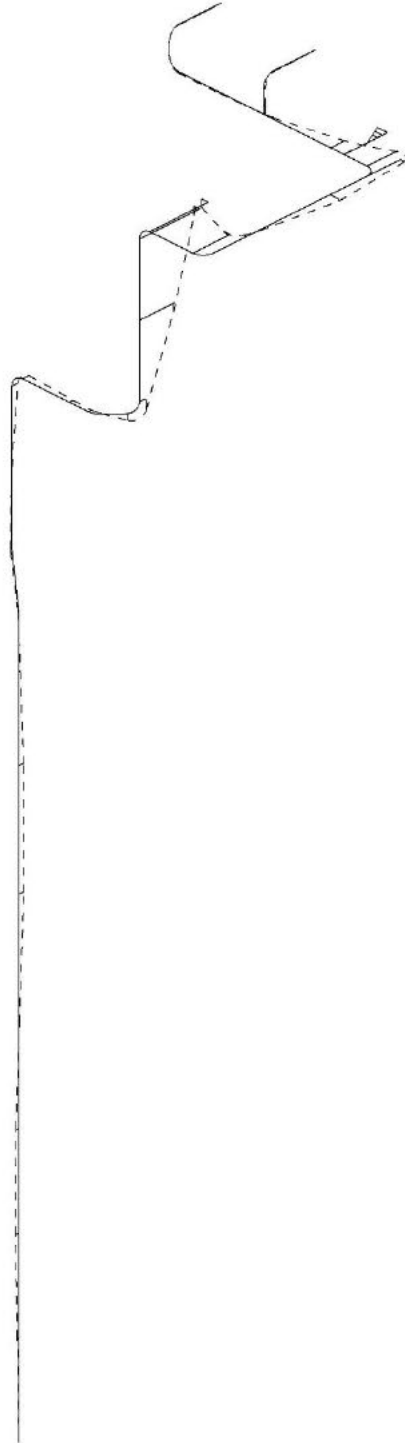
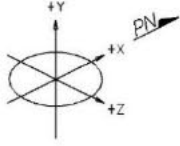
2ND MODE 8.26HZ(0.121 SEC)

図-4-2 浄水配管(KG83-655) 固有モード図 (2/3)



3次モード図

固有周期 : 0.089 (秒)

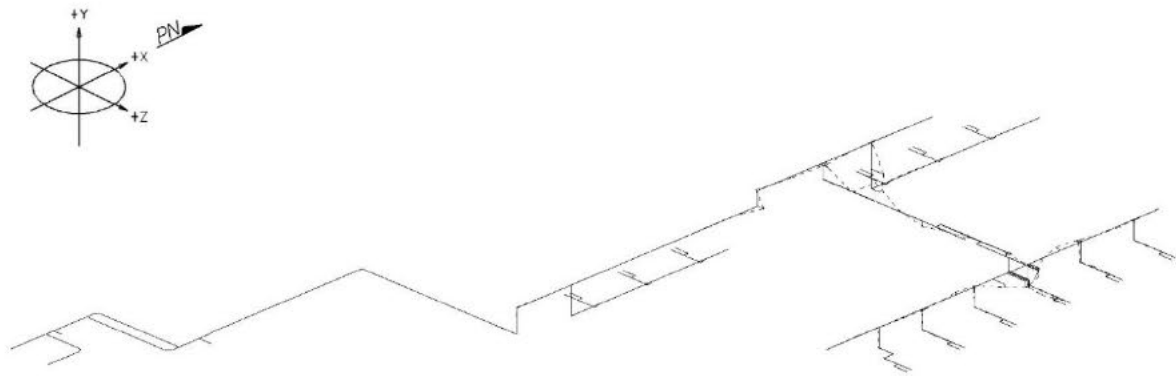


3RD MODE 11.27HZ ( 0.089 SEC )

図-4-3 浄水配管(KG83-655) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.099（秒）

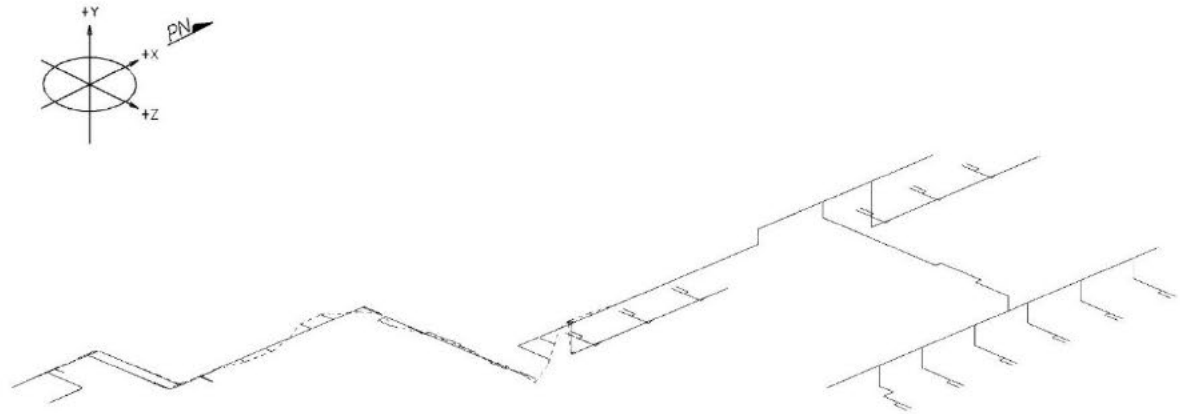


[ ST MODE 10.09HZ( 0.099 SEC )

図-4-4 浄水配管(KG83-656) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.077 (秒)

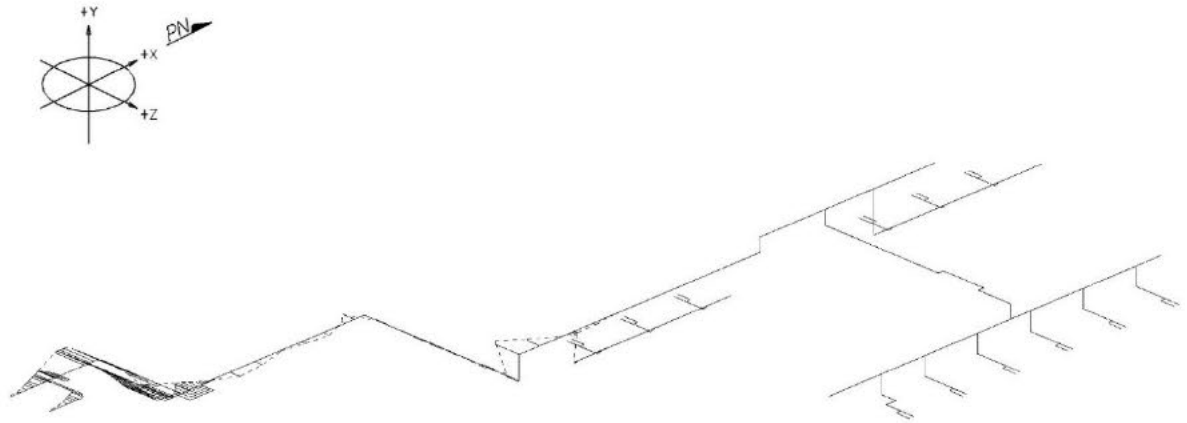


2ND MODE 13.07HZ( 0.077 SEC)

図-4-5 浄水配管(KG83-656) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.076 (秒)

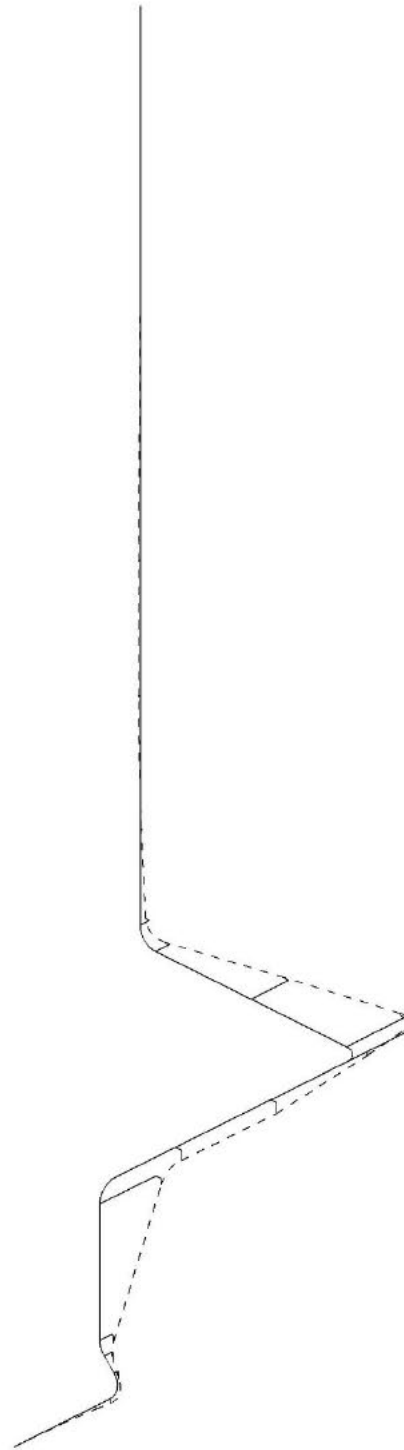
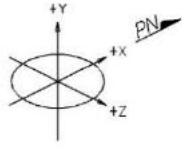


3RD MODE: 13.14 HZ ( 0.076 SEC )

図-4-6 浄水配管(KG83-656) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.144（秒）

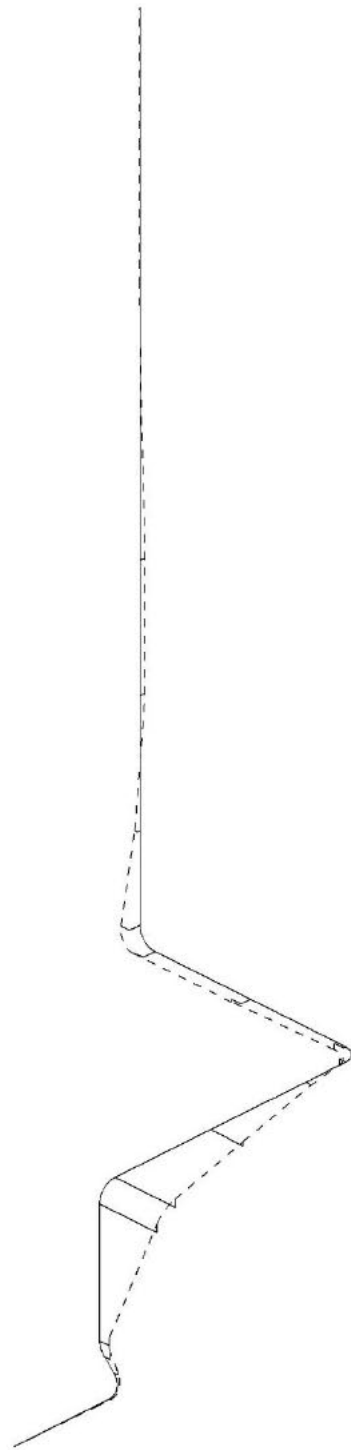
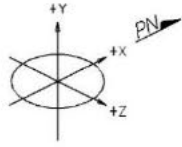


1ST MODE 6.93HZ(0.144 SEC)

図-4-7 浄水配管(KG83-679) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.094 (秒)

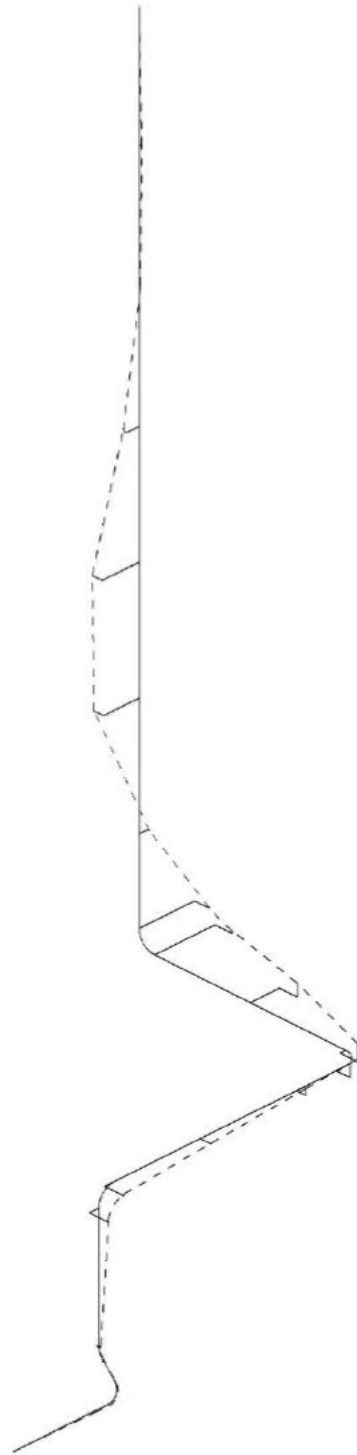
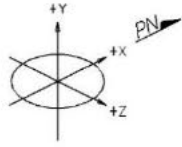


2ND MODE 10.58HZ ( 0.094 SEC )

図-4-8 配管(KG83-679) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.059 (秒)



3RD MODE 16.90 HZ ( 0.059 SEC )

図-4-9 配管(KG83-679) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.006（秒）

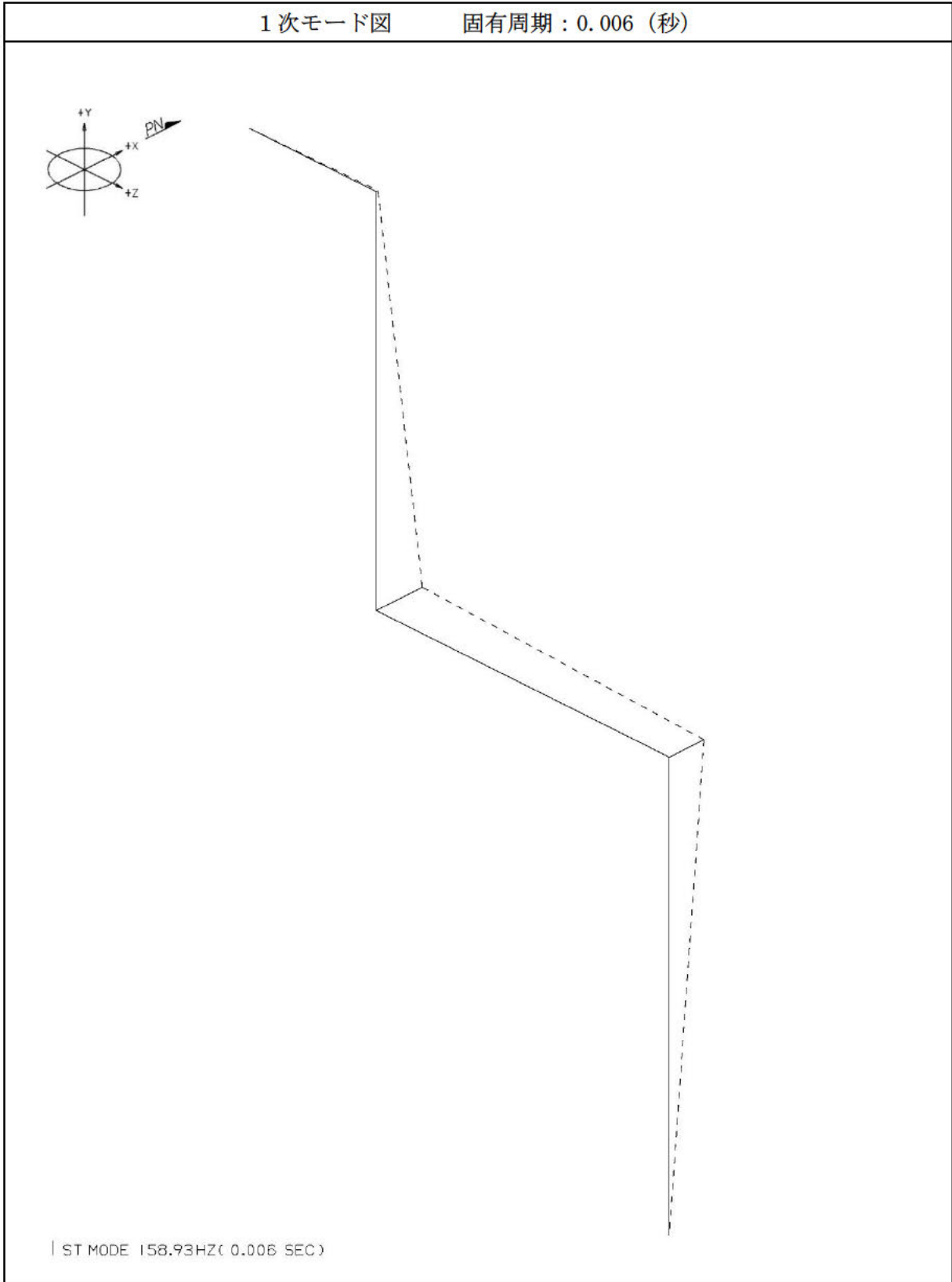


図-4-10 純水配管(KG99-001) 固有モード図



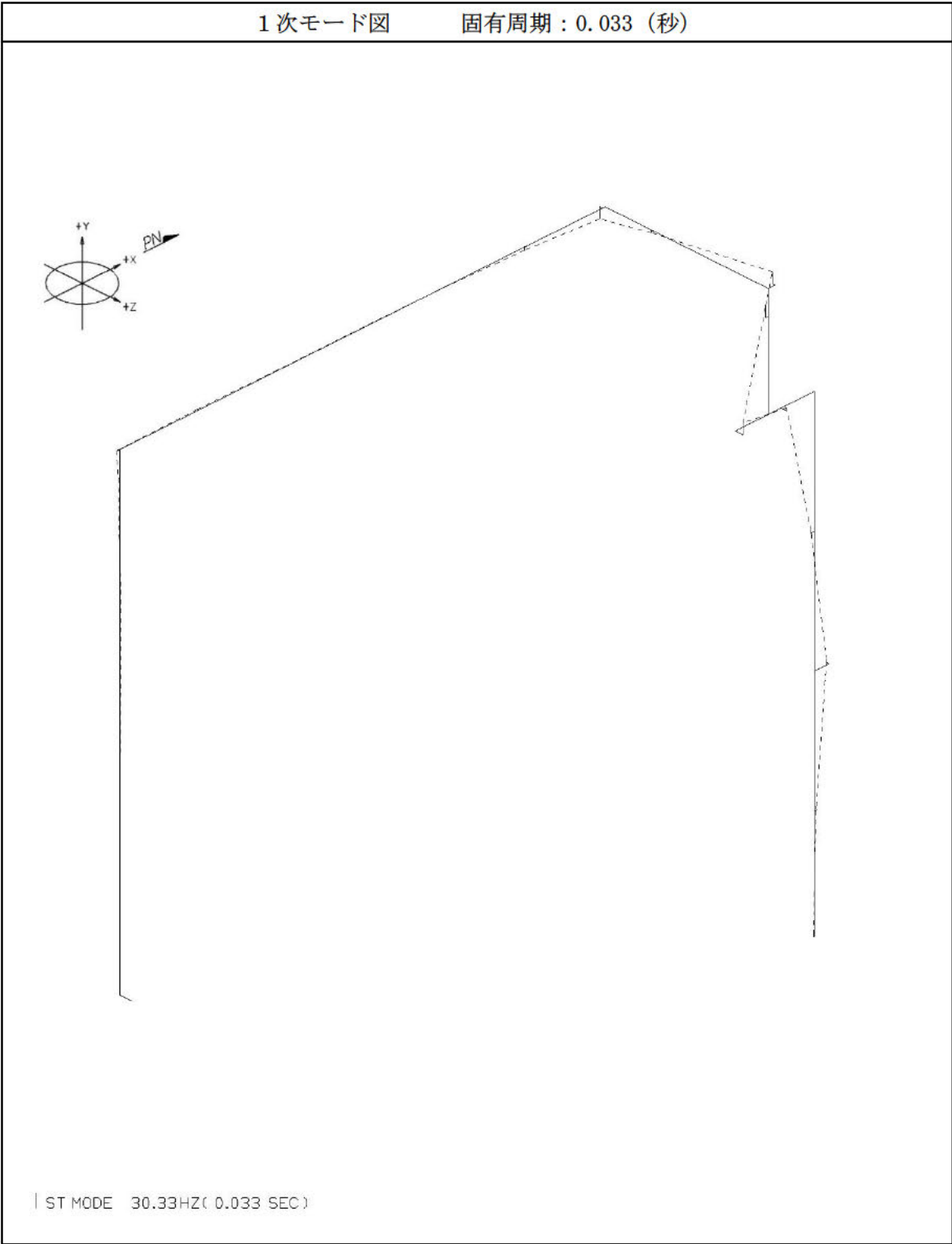


図-4-11 消火水配管(KG99-002) 固有モード図

## 5. 評価結果

構造強度評価結果を表-5-1 及び表-5-2 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管(浄水, 純水及び消火水配管)の各評価部位の発生応力は, いずれも許容応力以下であることを確認した。

表-5-1 構造強度評価結果 配管耐震性評価

| 評価対象設備           | 評価部位 | 応力分類 | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 応力比 <sup>※1</sup> |
|------------------|------|------|------------|------------|-------------------|
| 浄水配管 (KG83-655)  | 配管   | 一次   | 244        | 325        | 0.76              |
| 浄水配管 (KG83-656)  | 配管   | 一次   | 267        | 325        | 0.83              |
| 浄水配管 (KG83-679)  | 配管   | 一次   | 84         | 325        | 0.26              |
| 純水配管 (KG99-001)  | 配管   | 一次   | 8          | 446        | 0.02              |
| 消火水配管 (KG99-002) | 配管   | 一次   | 22         | 256        | 0.09              |

※1 応力比は, 発生応力/許容応力を示す。

表-5-2 構造強度評価結果 想定破損評価

| 評価対象設備           | 評価部位 | 応力分類  | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 応力比 <sup>※1</sup> |
|------------------|------|-------|------------|------------|-------------------|
| 浄水配管 (KG83-655)  | 配管   | 一次+二次 | 84         | 100        | 0.84              |
| 浄水配管 (KG83-656)  | 配管   | 一次+二次 | 96         | 100        | 0.96              |
| 浄水配管 (KG83-679)  | 配管   | 一次+二次 | 32         | 100        | 0.32              |
| 純水配管 (KG99-001)  | 配管   | 一次+二次 | 48         | 147        | 0.33              |
| 消火水配管 (KG99-002) | 配管   | 一次+二次 | 29         | 78         | 0.38              |

※1 応力比は, 発生応力/許容応力を示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)に係る  
配管（消火水及び飲料水）の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の配管（消火水及び飲料水）について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

配管（消火水及び飲料水）は、振動数基準の定ピッチスパン法により設置している。配管の構造強度の評価は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、当該配管に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

### 2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012(日本機械学会)
- (5) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012(日本機械学会)

## 2.3 記号の説明

| 記号        | 記号の説明                                 | 単位                |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|
| $C_H$     | 水平方向設計震度                              | —                 |
| $C_V$     | 鉛直方向設計震度                              | —                 |
| $D_0$     | 管の外径                                  | mm                |
| $g$       | 重力加速度                                 | mm/s <sup>2</sup> |
| $i_1$     | 設計・建設規格 PPC-3530 及び PPC-3810 に定める応力係数 | —                 |
| $L$       | 直管部の最大支持間隔                            | mm                |
| $M_a$     | 機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント      | N・mm              |
| $M_b$     | 機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント         | N・mm              |
| $P$       | 圧力                                    | MPa               |
| $S_{prm}$ | 一次応力                                  | MPa               |
| $S_u$     | JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ   | MPa               |
| $t$       | 管の厚さ                                  | mm                |
| $w$       | 管の単位長さ当たりの質量                          | kg/mm             |
| $Z$       | 管の断面係数                                | mm <sup>3</sup>   |

## 3. 評価部位

配管（消火水及び飲料水）の構造強度の評価は、本体の一次応力について実施する。

## 4. 構造強度評価

### 4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

### 4.2 許容応力

配管の構造強度の許容応力は、クラス 3 管に対する一次応力制限が規定されている「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984 重要度分類・許容応力編」に準拠し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に基づき、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds での温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。配管の応力分類と許容応力を表-4-1 に示す。

表-4-1 配管の応力分類と許容応力

| 評価部位 | 応力分類 | 許容応力                   | 備考  |
|------|------|------------------------|---|
| 配管   | 一次応力 | 0.9 Su<br>(1.5×0.6 Su) | 弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力 |

#### 4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表-4-2に示す。配管（消火水及び飲料水）の静的解析用震度は、配管据付最上階のもの（RF、水平方向：1.41、鉛直方向：0.80）を用いた。

表-4-2 静的解析用震度

| 階   | 静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2） |      |
|-----|-----------------------|------|
|     | 水平方向                  | 鉛直方向 |
| RF  | 1.41                  | 0.80 |
| 5F  | 1.36                  | 0.80 |
| 4F  | 1.24                  | 0.79 |
| 3F  | 1.18                  | 0.79 |
| 1F  | 1.10                  | 0.78 |
| B1F | 1.04                  | 0.77 |

#### 4.4 計算方法

配管（消火水及び飲料水）の発生応力の計算方法は、以下に示す「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の配管の計算式を適用した。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

$$S_{prm} = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

#### 4.5 計算条件

##### 4.5.1 解析モデル

配管（消火水及び飲料水）については、振動数基準の定ピッチスパン法に基づき、配管が地震時に共振しないよう一次固有振動数が 20 Hz 以上（剛）となる間隔で支持している。

直管部においては、等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。配管の解析モデルを図-4-1 に示す。

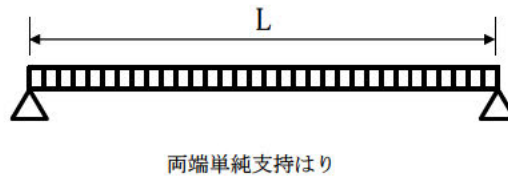


図-4-1 配管（飲料水及び消火水）の解析モデル

等分布荷重を受ける両端単純支持はりの $M_a$ は次式で表される。

$$M_a = \frac{wgL^2}{8}$$

また、 $M_b$ については、次式で表される。

$$M_b = \sqrt{(M_a C_H)^2 + (M_a C_V)^2}$$

上記のモデル化では両端を単純支持としているが、実際の配管において機器に接続される部分は固定端となる。したがって、実機では両端固定支持又は一端固定他端単純支持に近い状態となる。両端固定支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント $M_a$ は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{12}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{wgL^2}{24}$$

一端固定他端単純支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント $M_a$ は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{8}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{9wgL^2}{128}$$

となるので両端を単純支持とするモデルは実機よりも保守的となる（「構造力学公式集」，土木学会，1974）。

直管部以外の曲がり部分，支持間隔の間にバルブ等の集中質量がある部分，分岐等の部分については，それぞれの部位の固有振動数が 20 Hz 以上となるように，直管部の支持間隔にそれぞれの部位の特徴に縮小率を乗じて短くした支持間隔としている。図-4-2 には曲がり部分に対する縮小率を，図-4-3 には集中質量部に対する縮小率を示す。また，分岐部については縮小率 0.85 とする。したがって直管部で最も長い支持間隔となる配管（最も固有振動数が低くなる配管）について地震時の発生応力を計算することで，他の配管の発生応力は包絡される。



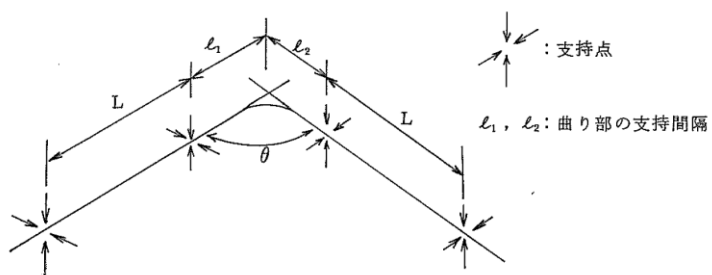
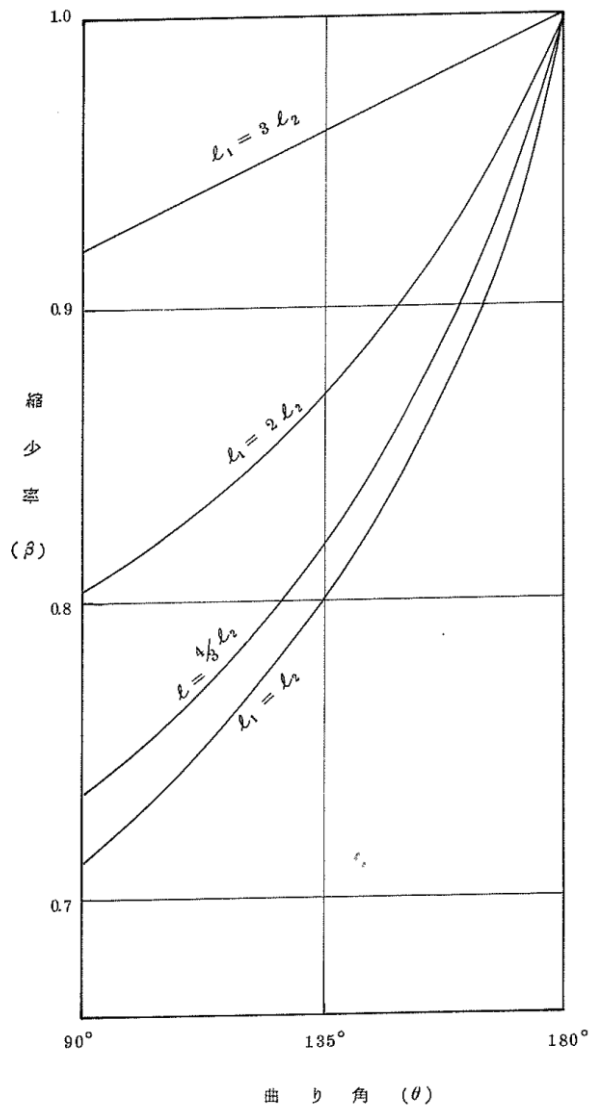
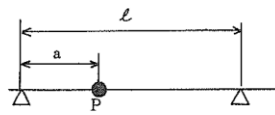
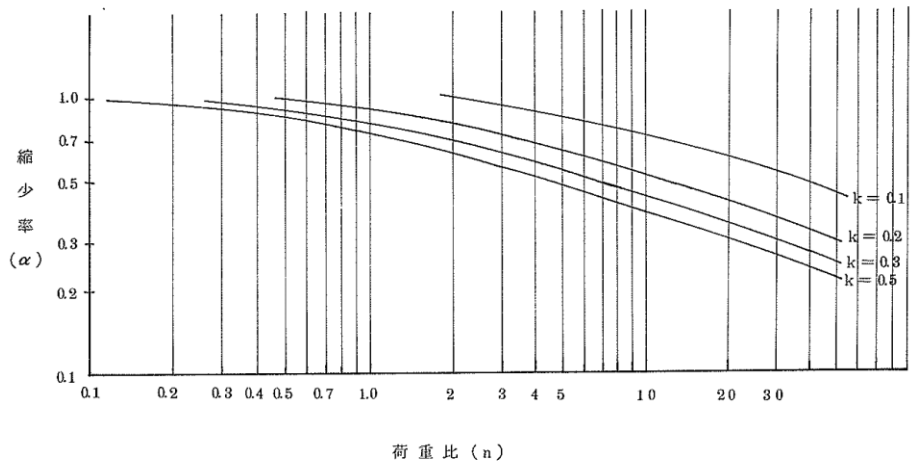


図-4-2 曲がり部を 20 Hz 以上とするための縮小率



P : 集中質量部の重量

w : 配管の単位長さ当りの重量

a : 支持点から集中質量部までの長さ

$$n : \text{荷重比} = \frac{P}{W \cdot l}$$

$$k : \frac{a}{l}$$

図-4-3 集中質量部を 20 Hz 以上とするための縮小率

#### 4.5.2 諸元

配管（消火水及び飲料水）の仕様を表-4-3 に示す。

表-4-3 配管の仕様

| 評価対象<br>設備  | 機器<br>区分 | 流体名 | 流体の<br>密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 材質  | 保温<br>有無 | 温度<br>(°C) | 圧力<br>(MPa) | 呼び径<br>(A) | 配管 Sch.<br>又は肉厚(mm) | 最大支持<br>間隔※1<br>(mm) |
|-------------|----------|-----|-----------------------------------|-----|----------|------------|-------------|------------|---------------------|----------------------|
| 配管<br>(飲料水) | クラス3     | 水   | 1.0                               | SGP | 有        | 40         | 0.66        | 20         | 2.8 (mm)            | 1400                 |
| 配管<br>(消火水) | クラス3     | 水   | 1.0                               | SGP | 有        | 40         | 0.75        | 40         | 3.5 (mm)            | 2000                 |
|             |          |     |                                   |     |          |            |             | 50         | 3.8 (mm)            | 2550                 |
|             |          |     |                                   |     |          |            |             | 65         | 4.2 (mm)            | 2700                 |
|             |          |     |                                   |     |          |            |             | 80         | 4.2 (mm)            | 3000                 |

※1 直管部の最大支持間隔

## 5. 評価結果

構造強度評価結果を表-5-1 に示す。

これより高放射性廃液貯蔵場(HAW)の配管（消火水及び飲料水）の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表-5-1 構造強度評価結果

| 評価対象設備  | 材質  | 保温有無 | 呼び径 (A) | 配管 Sch. 又は肉厚 (mm) | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 応力比 <sup>※1</sup> |
|---------|-----|------|---------|-------------------|------------|------------|-------------------|
| 配管（飲料水） | SGP | 有    | 20      | 2.8 (mm)          | 48         | 261        | 0.19              |
| 配管（消火水） | SGP | 有    | 40      | 3.5 (mm)          | 34         | 261        | 0.14              |
|         |     |      | 50      | 3.8 (mm)          | 37         | 261        | 0.15              |
|         |     |      | 65      | 4.2 (mm)          | 34         | 261        | 0.14              |
|         |     |      | 80      | 4.2 (mm)          | 36         | 261        | 0.14              |

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に係る  
配管（消火水及び飲料水）の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管（消火水及び飲料水）について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

配管（消火水及び飲料水）は、振動数基準の定ピッチスパン法により設置している。配管の構造強度の評価は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、当該配管に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

### 2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012(日本機械学会)
- (5) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012(日本機械学会)

## 2.3 記号の説明

| 記号        | 記号の説明                                 | 単位                |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|
| $C_H$     | 水平方向設計震度                              | —                 |
| $C_V$     | 鉛直方向設計震度                              | —                 |
| $D_0$     | 管の外径                                  | mm                |
| $g$       | 重力加速度                                 | mm/s <sup>2</sup> |
| $i_1$     | 設計・建設規格 PPC-3530 及び PPC-3810 に定める応力係数 | —                 |
| $L$       | 直管部の最大支持間隔                            | mm                |
| $M_a$     | 機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント      | N・mm              |
| $M_b$     | 機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント         | N・mm              |
| $P$       | 圧力                                    | MPa               |
| $S_{prm}$ | 一次応力                                  | MPa               |
| $S_u$     | JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ   | MPa               |
| $t$       | 管の厚さ                                  | mm                |
| $w$       | 管の単位長さ当たりの質量                          | kg/mm             |
| $Z$       | 管の断面係数                                | mm <sup>3</sup>   |

## 3. 評価部位

配管（消火水及び飲料水）の構造強度の評価は、本体の一次応力について実施する。

## 4. 構造強度評価

### 4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

### 4.2 許容応力

配管の構造強度の許容応力は、クラス 3 管に対する一次応力制限が規定されている「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984 重要度分類・許容応力編」に準拠し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に基づき、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds での温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。配管の応力分類と許容応力を表-4-1 に示す。

表-4-1 配管の応力分類と許容応力

| 評価部位 | 応力分類 | 許容応力                   | 備考  |
|------|------|------------------------|---|
| 配管   | 一次応力 | 0.9 Su<br>(1.5×0.6 Su) | 弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力 |

#### 4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表-4-2に示す。配管（消火水及び飲料水）の静的解析用震度は、配管据付最上階のもの（RF、水平方向：1.28、鉛直方向：0.79）を用いた。

表-4-2 静的解析用震度

| 階   | 静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2） |      |
|-----|-----------------------|------|
|     | 水平方向                  | 鉛直方向 |
| RF  | 1.28                  | 0.79 |
| 3F  | 1.12                  | 0.79 |
| 2F  | 1.03                  | 0.79 |
| 1F  | 0.97                  | 0.78 |
| B1F | 0.90                  | 0.78 |
| B2F | 0.86                  | 0.77 |



#### 4.4 計算方法

配管（消火水及び飲料水）の発生応力の計算方法は、以下に示す「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の配管の計算式を適用した。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

$$S_{prm} = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

#### 4.5 計算条件

##### 4.5.1 解析モデル

配管（消火水及び飲料水）については、振動数基準の定ピッチスパン法に基づき、配管が地震時に共振しないよう一次固有振動数が 20 Hz 以上（剛）となる間隔で支持している。

直管部においては、等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。配管の解析モデルを図-4-1 に示す。

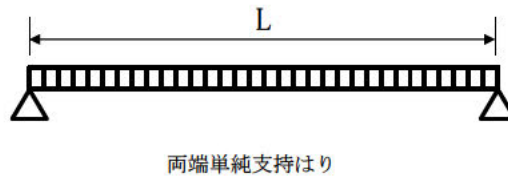


図-4-1 配管（飲料水及び消火水）の解析モデル

等分布荷重を受ける両端単純支持はりの $M_a$ は次式で表される。

$$M_a = \frac{wgL^2}{8}$$

また、 $M_b$ については、次式で表される。

$$M_b = \sqrt{(M_a C_H)^2 + (M_a C_V)^2}$$

上記のモデル化では両端を単純支持としているが、実際の配管において機器に接続される部分は固定端となる。したがって、実機では両端固定支持又は一端固定他端単純支持に近い状態となる。両端固定支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント $M_a$ は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{12}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{wgL^2}{24}$$

一端固定他端単純支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント $M_a$ は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{8}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{9wgL^2}{128}$$

となるので両端を単純支持とするモデルは実機よりも保守的となる（「構造力学公式集」，土木学会，1974）。

直管部以外の曲がり部分，支持間隔の間にバルブ等の集中質量がある部分，分岐等の部分については，それぞれの部位の固有振動数が 20 Hz 以上となるように，直管部の支持間隔にそれぞれの部位の特徴に縮小率を乗じて短くした支持間隔としている。図 4-2 には曲がり部分に対する縮小率を，図 4-3 には集中質量部に対する縮小率を示す。また，分岐部については縮小率 0.85 とする。したがって直管部で最も長い支持間隔となる配管（最も固有振動数が低くなる配管）について地震時の発生応力を計算することで，他の配管の発生応力は包絡される。

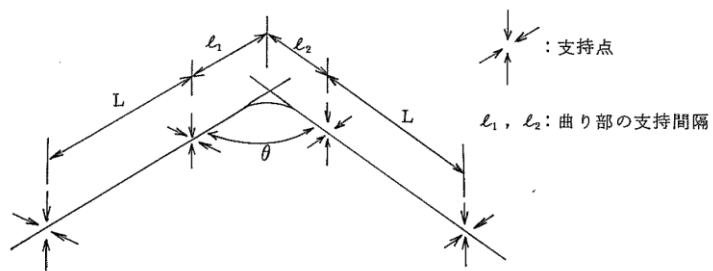
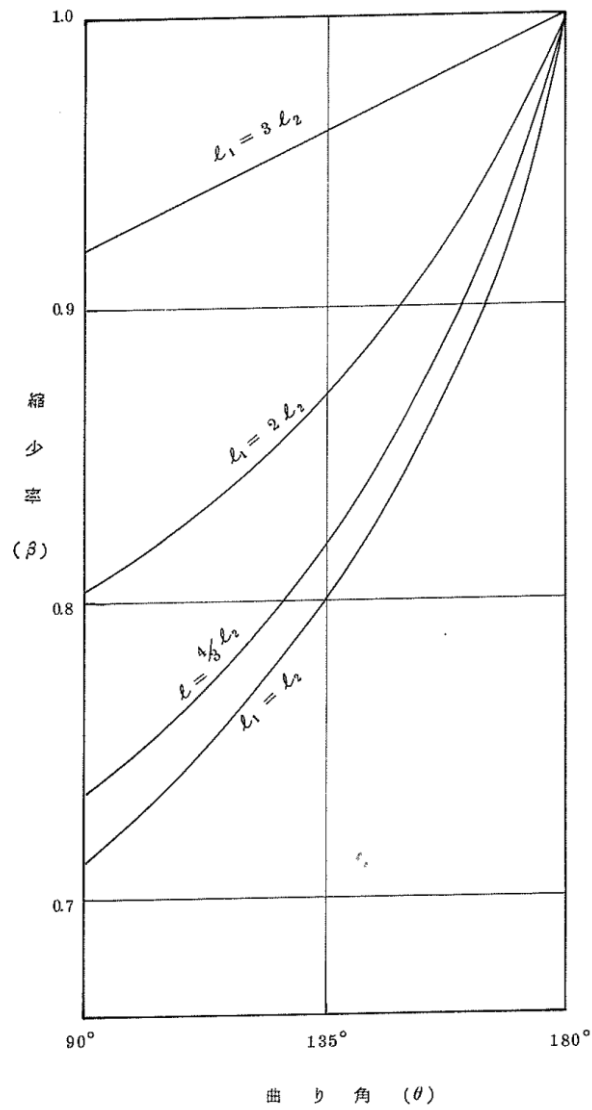
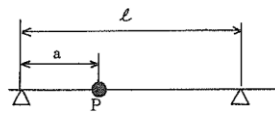
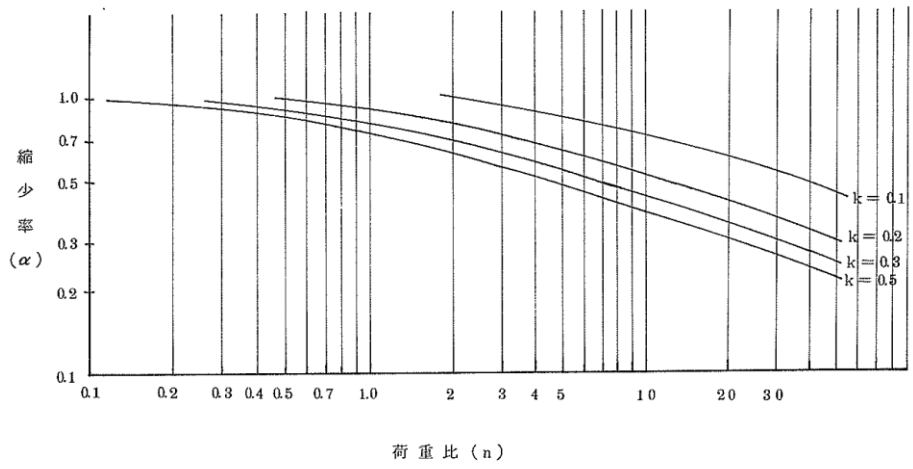


図-4-2 曲がり部を 20 Hz 以上とするための縮小率



P : 集中質量部の重量

w : 配管の単位長さ当りの重量

a : 支持点から集中質量部までの長さ

$$n : \text{荷重比} = \frac{P}{W \cdot l}$$

$$k : \frac{a}{l}$$

図-4-3 集中質量部を 20 Hz 以上とするための縮小率

#### 4.5.2 諸元

配管（消火水及び飲料水）の仕様を表-4-3 に示す。

表-4-3 配管の仕様

| 評価対象設備   | 機器区分  | 流体名 | 流体の密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 材質  | 保温有無 | 温度 (°C) | 圧力 (MPa) | 呼び径 (A) | 配管 Sch. 又は肉厚 (mm) | 最大支持間隔 <sup>※1</sup> (mm) |
|----------|-------|-----|----------------------------|-----|------|---------|----------|---------|-------------------|---------------------------|
| 配管 (飲料水) | クラス 3 | 水   | 1.0                        | SGP | 有    | 40      | 0.66     | 20      | 2.8 (mm)          | 1730                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 25      | 3.2 (mm)          | 1940                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 32      | 3.5 (mm)          | 2160                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 40      | 3.5 (mm)          | 2300                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 50      | 3.8 (mm)          | 2560                      |
| 配管 (消火水) | クラス 3 | 水   | 1.0                        | SGP | 有    | 40      | 0.75     | 40      | 3.5 (mm)          | 2300                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 50      | 3.8 (mm)          | 2560                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 65      | 4.2 (mm)          | 2860                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 80      | 4.2 (mm)          | 3060                      |
|          |       |     |                            |     |      |         |          | 100     | 4.5 (mm)          | 3420                      |

※1 直管部の最大支持間隔

## 5. 評価結果

構造強度評価結果を表-5-1 に示す。

これよりガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管（消火水及び飲料水）の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表-5-1 構造強度評価結果

| 評価対象設備  | 材質  | 保温<br>有無 | 呼び径<br>(A) | 配管 Sch. 又<br>は肉厚(mm) | 発生応力<br>(MPa) | 許容応力<br>(MPa) | 応力比 <sup>※1</sup> |
|---------|-----|----------|------------|----------------------|---------------|---------------|-------------------|
| 配管（飲料水） | SGP | 有        | 20         | 2.8 (mm)             | 39            | 261           | 0.15              |
|         |     |          | 25         | 3.2 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
|         |     |          | 32         | 3.5 (mm)             | 37            | 261           | 0.15              |
|         |     |          | 40         | 3.5 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
|         |     |          | 50         | 3.8 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
| 配管（消火水） | SGP | 有        | 40         | 3.5 (mm)             | 37            | 261           | 0.15              |
|         |     |          | 50         | 3.8 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
|         |     |          | 65         | 4.2 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
|         |     |          | 80         | 4.2 (mm)             | 36            | 261           | 0.14              |
|         |     |          | 100        | 4.5 (mm)             | 38            | 261           | 0.15              |

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟  
配管分岐室(A024 及び A025)のトランスミッタラックに係る蒸気漏えい対策について

## 1. 概要

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管分岐室(A024 及び A025)には、固化セルに蒸気を供給するために複数の蒸気配管が敷設されており、これらの蒸気配管と貫通プラグを接続している壁貫通部がターミナルエンドに該当すると考えることから、「内部溢水影響評価ガイド」の考え方にに基づき、当該区画(配管分岐室(A024 及び A025))で蒸気配管が破損し蒸気が区画内部に充満する事象を想定した。

その場合、同一区画内に設置されている防護対象設備(トランスミッタラックに据え付けられている、受入槽・回収液槽の液位及び温度測定に係る伝送器)が漏えいした蒸気の影響(温度上昇及び被水による影響)を受けることになる。そのため、蒸気の漏えいに対してこれらの防護対象設備を蒸気影響から防護するための対策として、遮断弁及びカバー設置による蒸気漏えいの低減対策、設置エリアの隔離対策、漏えい蒸気温度に耐える仕様への変更、また、設置区画内での蒸気影響が避けられない場合において設備を移設する対策についても検討した結果、いずれも物理的・技術的に困難であった。

このことから、機能喪失した場合の影響について検討した結果、本機能の喪失は事故(蒸発乾固)の起因とはならないこと、また、本機能の喪失時において、仮に他の要因により蒸発乾固の起因となる事象が重畳するような事態を想定したとしても、蒸発乾固に至るまでの時間裕度の中で、損傷した防護対象設備の交換又は事故対処設備として配備している可搬型測定装置により機能回復が可能であることから、あらかじめ確保した予備品による迅速な交換作業を行い機能回復が可能な体制を確保するとともに、事故対処設備として配備した可搬型設備で必要な計測が維持できるようにすることが、実現性の観点から妥当な代替策と考えた。

## 2. 対策の検討

- ・第一の方策として、蒸気遮断弁による隔離を検討した。
- ・配管分岐室(A024 及び A025)の蒸気配管(0.7 MPa(165°C))には、ターミナルエンドがあることから「内部溢水影響評価ガイド」に基づき全周破断を想定し、短時間に多量の蒸気漏えい(1.6 kg/sec)が生じるとした。
- ・配管分岐室(A024 及び A025)の容積は小さく(約 600 m<sup>3</sup>)、当該区画で上記のような規模の漏えいが生じた場合には急激に室内温度が上昇し、配管分岐室(A024)では 0.5 分程度、配管分岐室(A025)では 0.2 分程度で防護対象設備の機能の維持が困難な温度(40°C)まで上昇すると評価された。(添付-1 参照)
- ・そのため、時間的に人的操作による対応は困難であることから、自動操作(蒸気遮断弁)による蒸気漏えい量の低減方策について検討した。この対策により漏えい発生と同時に蒸

気漏えいを検知できると仮定しても、蒸気遮断弁の作動による隔離には 0.5 分程度の時間は要することから、自動操作による漏えい量低減方策は効果的でないと判断した。

- ・第二の方策として、破断想定箇所（ターミナルエンド）周囲にカバーを設置する等の影響緩和を検討した。しかしながら、当該箇所はガラス固化セルの遠隔保守の観点から 1 か所の貫通プラグを通して多数本の蒸気配管を集束した構造となっており、ターミナルエンドカバー等の構造体を設置するために必要なクリアランスが確保できず、施工が困難である。（図-1 参照）
- ・破断想定箇所（ターミナルエンド）と防護対象設備（トランスミッタラック上の伝送器）の間に仕切り等を設けて区画を分割することも考えられたが、蒸気が漏えいするエリアとトランスミッタラックの設置エリア間には他の既設配管が多数敷設されており、気密性を確保できる仕切りの設置は困難であった。（図-2 参照）
- ・また、防護対象設備を蒸気漏えい時に想定される温度に耐え得る性能を持ったものに交換することを検討したが、調査の結果、想定される蒸気漏えい温度に耐える仕様で相当品となる機種はなかった。
- ・以上の検討から、蒸気の漏えい量を抑制すること、蒸気が防護対象設備に到達しないようにする対策は現実的でないため、さらなる代替の対策として、防護対象設備を区画外の場所へ移設する対策について検討を行った。
- ・防護対象設備を移設する対策において、配管分岐室の隣接エリアは空間容積が大きい保守区域（A028）であることから、移設先の候補として、配管分岐室(A024 及び A025)外側にある保守区域の通路（グレーチング）と、保守区域（A028）の床を選定した。なお、配管分岐室(A024 及び A025)は地下中 1 階にあり、その外側の通路は地下 1 階の保守区域(A028)の床から架構で組み上げたグレーチングで構築されている。
- ・配管分岐室(A024, A025)を出た外側の通路については、設置可能面積が少なく、周りに他の配管等も存在することからトランスミッタラックを設置する物理的な空間が確保できないことが分かった。（添付-2 参照）
- ・一方、外側通路の下階の通路（保守区域（A028）の床位置）には移設可能な空間があるものの、導圧管の経路を検討した結果、導圧管の閉塞防止のために定期的に行う通水及び加湿パージエアの通気により導圧管内に水を滞留させないための勾配が確保できず、性能維持に必要な保全が出来なくなることが分かった。（添付-2 参照）
- ・以上の検討の結果、防護対象設備（トランスミッタラック上の伝送器）を蒸気配管からの蒸気の漏えいから防護するために考えられる対策はいずれも物理的・技術的に困難であることが分かった。
- ・そのため、万が一、防護対象設備（トランスミッタラック上の伝送器）が蒸気の漏えいに



より機能喪失した場合の影響について検討した。当該事象において喪失する機能はガラス固化運転時に高放射性廃液を貯蔵する受入槽・回収液槽の液位及び温度の測定（監視）である。したがって、本機能の喪失自体は事故（蒸発乾固）の起因とはならない。（添付-3 参照）

- ・また、本機能の喪失時に、他の要因により蒸発乾固の起因となる事象が重畳するような事態を想定したとしても、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟における高放射性廃液の沸騰到達時間として56時間（濃縮器の遅延対策に係る時間裕度として26時間）であることから、蒸気配管の供給元の遮断弁を閉止して蒸気の漏えいを停止し、配管分岐室(A024, A025)の扉の開放や建家換気による室内温度低下を待って、損傷した防護対象設備の交換又は事故対処設備として配備している可搬型測定装置による機能回復を実施するために十分な時間余裕がある。
- ・以上のことから、防護対象設備（トランスミッタラック上の伝送器）を蒸気漏えいから防護するための対策の代替として、蒸気漏えいにより防護対象設備（トランスミッタラック上の伝送器）が機能喪失した場合には、あらかじめ確保した予備品による迅速な交換作業を行い機能回復するとともに、並行して事故対処設備として配備した可搬型設備で必要な計測が維持できるようにすることが、実現性の観点から妥当と考えた。

### 3. 当該トランスミッタラックに係る対策

当該機能により高放射性廃液の閉じ込め及び崩壊熱除去機能に影響がないことを考慮し、蒸気漏えいした場合において、以下の対策を講じる。

- ・導圧管については、蒸気漏えいにより機能喪失しない。
- ・トランスミッタラックの端子箱については、「溢水影響評価ガイド」に記載のある蒸気防護措置として、密封処理(パッキン等)を行う。
- ・伝送器等の計測設備については、予備品を拡充して配備し、部品交換で対応する。

なお、伝送器等の計装設備が機能喪失した場合においても、可搬型設備で必要な計測が維持できるよう対策する。



図-1 配管分岐室におけるセル貫通部の蒸気配管等の設置状況

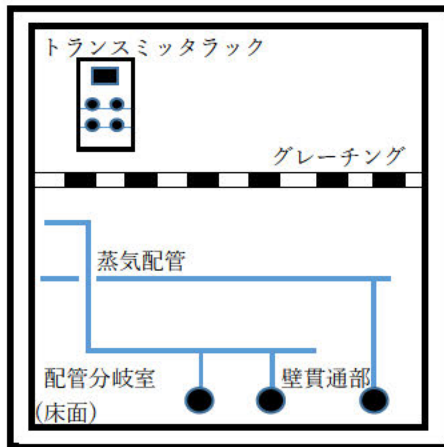


図-2 配管分岐室におけるトランスミッタラック等の設置状況

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟  
配管分岐室で蒸気漏えいを想定した場合の時間裕度について

○蒸気漏えい量の評価

配管分岐室(A024 及び A025)にある蒸気圧力 0.7 MPa の蒸気配管(40A)がターミナルエンドで全周破断する想定で、蒸気漏えい量を評価した。

蒸気の流出流量は、蒸気単相臨界流として Murdock-Bauman 相関式により、配管断面積を流出面積として算出した。

○温度評価

配管分岐室(A024 及び A025)の容積に基づく空気の熱容量に対して、蒸気 0.7 MPa(165°C)が漏えいした場合の温度上昇について、初期温度を 25 °Cとし、電気計装設備の使用温度として保守的に 40°Cに到達するまでの時間を蒸気漏えいによる熱量と部屋の空気の熱容量との関係から評価した。評価結果を以下に示す。

|              | 容積                   | 評価温度                | 到達時間  |
|--------------|----------------------|---------------------|-------|
| 配管分岐室 (A024) | 約 600 m <sup>3</sup> | 40 °C <sup>*1</sup> | 0.5 分 |
| 配管分岐室 (A025) | 約 250 m <sup>3</sup> | 40 °C <sup>*1</sup> | 0.2 分 |

※1：計装設備として圧力検知装置の使用温度

## トランスミッタラックの移設に係る検討について

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管分岐室のトランスミッタラックについて、配管分岐室の外にある保守区域の通路(グレーチング)に移設するケース①、保守区域の床面に移設するケース②について検討した結果、設置スペースが確保できない、また、メンテナンス上で支障をきたす等の理由から、現状設置されている区画以外に移設することは困難と判断した。

## ○ケース①

配管分岐室に隣接する保守区域にはグレーチングの通路があるが、配管スペース横のグレーチングのエリアが狭いことから、ラックの設置スペースが確保できず、移設不可能である。



配管分岐室横のグレーチング通路

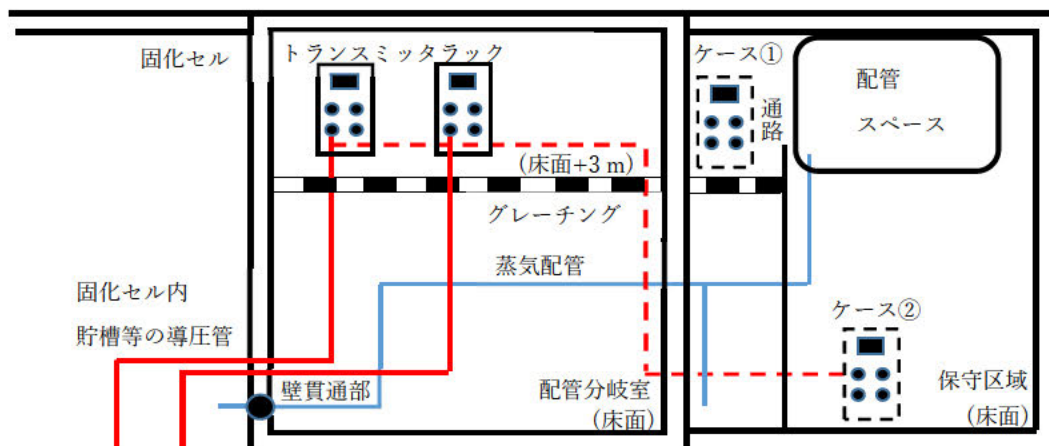


グレーチング通路横の配管スペース

## ○ケース②

貯槽からの導圧管については閉塞解除のために水を流下する等のメンテナンスを行う必要があることから、導圧管内に水を滞留させないためには、現状の設置レベルと同等の高さに設置する必要がある。

導圧管の経路を検討した結果、配管の位置関係的に導圧管の閉塞防止のために定期的に行う通水及び加湿パージエアの通気により導圧管内に水を滞留させないための勾配が確保できず、性能維持に必要な保全が出来なくなることから、トランスミッタラックの設置エリアとして適切ではない。



## トランスミッタラックに係る安全機能について

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管分岐室のトランスミッタラックには、高放射性廃液を保有する受入槽、回収液槽等の液位、圧力に係る計測機能がある。配管分岐室の計装設備が蒸気漏えいにより機能喪失した場合においても以下の理由により、閉じ込め及び崩壊熱除去に係る安全機能に影響しないことから、高放射性廃液の閉じ込め及び崩壊熱除去に係る安全機能が機能喪失に至ることはない。

・高放射性廃液の閉じ込めに係る槽類換気系設備は、排風機が廃気処理室(A011(地下2階))及び電源設備となる動力分電盤が保守区域(A018(地下2階))に設置されており、配管分岐室(A024, A025)とは別区画にあることから、当該区画での蒸気漏えいにより機能喪失に至ることはない。

・高放射性廃液の崩壊熱除去に係る一次冷却水系設備は、一次冷却水ポンプがユーティリティ室(A022(地下1階))及び電源設備となる動力分電盤が保守区域(A018(地下2階))に設置されており、配管分岐室(A024及びA025)とは別区画にあることから、当該区画での蒸気漏えいにより機能喪失に至ることはない。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟  
配管分岐室における蒸気漏えい時の代替策による対応の有効性について

1. 代替策による有効性評価の基本的考え方

再処理施設においては、高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟について、最優先で安全対策を進めることとしている。

両施設の内部溢水対策として、高放射性廃液の蒸発乾固を防止するための崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能(以下「重要な安全機能」という。)を担う設備及び系統を防護対象とし、必要な防護対策を講じる。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能を担う設備のうち、配管分岐室(A024 及び A025)のトランスミッタラックについては、当該区画において蒸気配管のターミナルエンドからの蒸気漏えいに対してカバーの設置、仕切り板の設置等の溢水対策を講じることが困難であった。これに対して、蒸気影響によりトランスミッタラックの液位等の計測設備が機能喪失した場合においても、時間余裕(高放射性廃液の沸騰到達時間として 56 時間、濃縮器の遅延対策に係る時間裕度として 26 時間を考慮)の中で可搬型設備により重要な安全機能を回復することで、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」の要求に相当する水準の安全性を確保する。

2. 事象の想定

配管分岐室(A024 及び A025)において、蒸気配管のターミナルエンドでの全周破断による蒸気漏えいの発生を想定する。配管分岐室(A024 及び A025)は空間容積が小さく、当該区画において蒸気漏えいが発生した場合には短時間(配管分岐室(A024)では 0.5 分程度、配管分岐室(A025)では 0.2 分程度)で区画内の温度が機能喪失を想定する温度(40°C)まで上昇することから、防護対象設備(トランスミッタラック)が機能喪失に至ることを想定する。

配管分岐室(A025)の動的機能を有する防護対象設備は、トランスミッタラック(TR11.1, TR11.2)、配管分岐室(A024)の動的機能を有する防護対象設備はトランスミッタラック(TR12.1, TR12.2, TR12.3, TR12.4, TR21)である。これらのトランスミッタラックにはガラス固化技術開発施設(TVF)の受入槽、回収液槽、濃縮器等の液位等の計測に係る差圧伝送器等の計測設備が収納されていることから、液位・圧力の監視機能及び液移送の自動停止機能の機能喪失を想定する。

当該区画内での蒸気漏えいを速やかに停止するため、配管分岐室(A024 及び A025)に温度センサを設置し、遮断弁で建家への蒸気供給を停止するよう対策する。これにより、蒸気漏えいにより防護対象設備が機能喪失する場合においても、区画内の蒸気漏えいを早期に検知し、蒸気の供給を自動停止することで蒸気の漏えいを低減し、早期の復旧対応を可能とす

る。

蒸気漏えいの停止後、機能喪失した計測機能の代替は可搬型設備により行う。蒸気影響による計測設備の機能喪失については、工程制御装置の異常信号の警報等により制御室において機能喪失した計測設備の検知が可能である。また、機能喪失した計測機能の代替は可搬型設備により行う。可搬型設備は蒸気影響により防護対象設備と同時に機能喪失することのないエリアに保管し、事象発生時には運転員が配管分岐室へ運搬し、既設の導圧管等に接続して計測する対策を行う。

この場合において、蒸気漏えいにより室内の温度が上昇することから、建家換気により室内温度が低減するまでの間(約1時間)、室内への入域が困難となることを考慮する。作業は室内温度が低下した後に実施する。この場合、建家換気設備(排風機及び電源設備)は排気機械室(A311:3階)に設置されており、配管分岐室(A024, A025:地下1階)での蒸気漏えいの影響を受けないことから、建家換気は健全である。

また、高放射性廃液の閉じ込め及び崩壊熱除去に係る動的機能を有する防護対象設備は、配管分岐室(A024及びA025)内にはないことから、配管分岐室(A024及びA025)での蒸気漏えいに対して機能喪失することはないことから、蒸気漏えいに伴い蒸発乾固が同時に発生することはない。

以上より、配管分岐室(A024及びA025)での蒸気漏えいにより蒸発乾固等の事象が連鎖して発生することはない前提で、蒸気影響により機能喪失が想定される計装設備の監視機能等に対する可搬型設備による代替策の有効性を評価する。

### 3. 対策について

#### 3.1 対策概要

配管分岐室での蒸気漏えいによりトランスミッタラックの計装設備が機能喪失した場合の対応として、蒸気漏えいを早期に検知して運転停止を行うとともに、機能喪失した計測設備に対して貯槽の液位及び圧力の計測機能を速やかに回復するため、可搬型設備により機能喪失した液位及び圧力の計測を行う。機能喪失した計測設備については予備品との交換により復旧する。蒸気漏えいの発生から復旧までの対応フローを図-1に示す。

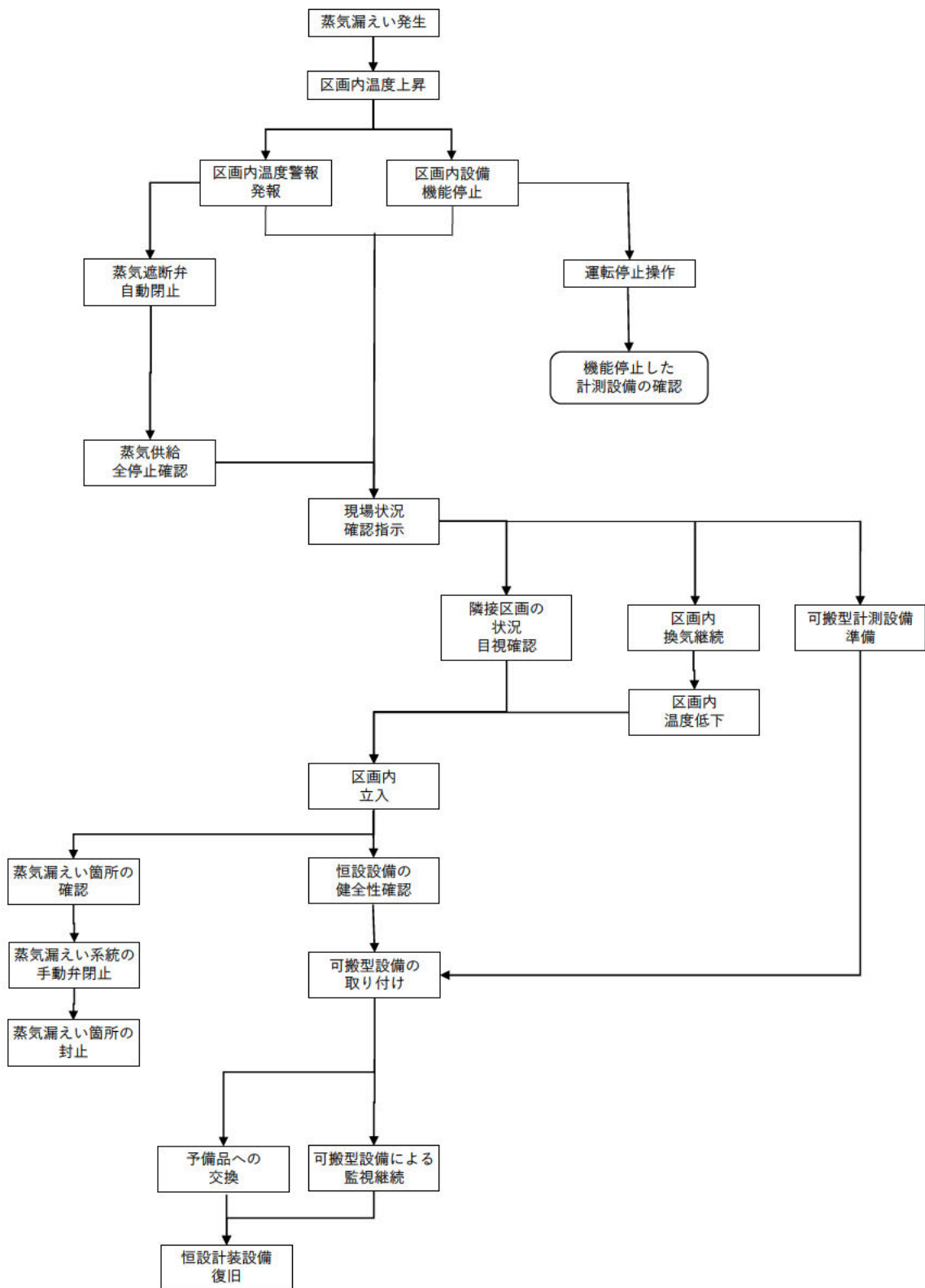


図-1 配管分岐室における代替策に係る対応フロー



## 3.2 対策の具体的内容

配管分岐室(A024 及び A025)において蒸気漏えいが発生した可搬型設備により計測を可能とするまでの操作項目を整理し、対策に要する要員及び時間をタイムチャートに整理した。以下、対策の具体的内容を示す。

### ① 蒸気漏えいによる異常発生を検知

- ・蒸気漏えいについては、配管分岐室(A024 及び A025)に温度センサを設置し、区画内の蒸気漏えいを制御室において早期に検知する。
- ・計測設備の機能喪失については、制御室の工程制御装置の異常信号の警報により計測設備の異常を検知する。

### ② 停止操作

- ・TVF 制御室において蒸気漏えいの検知、計装設備の異常を検知し、施設の運転停止操作を行う。運転停止操作として、スチームジェットによる貯槽間の液移送については蒸気供給の停止操作、濃縮液供給槽から溶融炉への液移送についてはエアリフトへの圧空の供給停止、濃縮器での廃液濃縮については加熱蒸気の供給停止であり、いずれも制御室において運転員が工程制御装置により速やかに停止操作を行うことが可能である。
- ・蒸気漏えいについては、配管分岐室(A024 及び A025)に設置する温度センサにより区画内の温度上昇を検知した際、遮断弁が自動的に作動することにより直ちに蒸気供給が遮断されて停止する。なお、蒸気供給を停止することで、施設内での液移送用の蒸気、加熱用蒸気の供給は停止するが、蒸気供給が供給されないことによる上記の運転停止操作への影響はない。

### ③ 現場の状況確認

- ・制御室での異常検知に対して、運転員が経路上の安全を確認しながら現場に接近し、蒸気漏えい事象の確認を行う。現場確認は、蒸気供給の停止を確認した後に行う。蒸気漏えいによる温度上昇を考慮し、隣接エリアから蒸気・凝縮水の有無等、現場確認を行う。蒸気漏えい箇所である配管分岐室の現場確認は、建家換気による区画内の温度低下の後に行う。

### ④ 機能喪失箇所の特定

機能喪失した計装設備については、計測信号が喪失したことによる異常信号を制御室の工程制御室等で検知することから、機能喪失した計装設備の特定を行う。

⑤ 配管分岐室(A024 及び A025)の換気

配管分岐室(A024 及び A025)において可搬型設備による計測作業を行うため、蒸気が漏えいした配管分岐室(A024 及び A025)の換気を建家換気により行う。②に示したとおり当該区画内での蒸気漏えいを遮断弁により早期に停止することで区画内の過度な温度上昇を防止するとともに、建家換気で区画容積の約5回/時間の換気が可能であり、1時間後には蒸気漏えい前の室温程度に低下することから、可搬型設備による計測作業が可能な環境とすることができる。

⑥ 可搬型計装設備の準備

換気により対策の実施が可能となるまでの間に、機能喪失を特定した計装設備に対して、速やかに可搬型計装設備の取り付け作業が出来るように、必要な可搬型計装設備を保管場所から運搬する等の準備を進める。

⑦ 配管分岐室の状況確認

建家換気による区画内の温度低下の後、配管分岐室内の状況確認を行う。蒸気漏えい箇所の確認、恒設設備の健全性確認等を行う。

⑧ 可搬型設備による計測

恒設の計装設備へ可搬型計測設備を接続し液位、圧力等の測定を可能とする系統を構築する。可搬型設備の接続は、事故対策での対応と同じく容易な接続方式であるため、約30分で対応が可能である。この応急的対応を続ける間、計測は現場に設置した可搬型計装設備に表示されるデータを運転員が定期的に確認することで行う。

⑨ 部品交換による復旧

可搬型計装設備により応急的対応を講じた後、配管分岐室での蒸気漏えいによる計測設備の機能喪失に備えてあらかじめ確保していた予備品を用いて故障した恒設の計装設備の交換・復旧作業を行う。機能喪失した計装設備の予備品との交換による復旧は、4名の要員で対応することで、約1日で対応可能である。

### 3.3 対応要員

ガラス固化処理運転中においては、ガラス固化技術開発施設(TVF)には運転員10名が24時間常駐するため、この要員で対処を実施する。

対策の実施に必要な要員数は、図-2のタイムチャート上に示す各手順の実施に必要な人数を合計して求めた。その結果、可搬型設備による計測機能の回復の実施に必要な要員は、制御室の2名、配管分岐室等での現場作業の3名の計5名であった。

なお、可搬型設備による計測を完了した後の復旧においては、可搬型計測設備による液位等の監視を継続する要員の他、機能喪失した計測設備の交換及び復旧を行う要員を4名としている。

ガラス固化処理運転中においては、ガラス固化技術開発施設(TVF)に常駐する運転員10名で必要な対応を実施できることを確認した。

### 3.4 対応設備

#### ①設備の概要

配管分岐室での蒸気漏えいによりトランスミッタラックの計測機能が機能喪失した場合、受入槽等のパラメータの計測ができなくなる。このため可搬型計装設備により、その機能を代替する。

トランスミッタラックには、受入槽等の液位・圧力の計測設備がある。液位・圧力を計測するため、既設の導圧管の差圧を計測する差圧計、パージメータ等の設備を使用する。

可搬型計測設備による測定対象パラメータを以下に示す。

- ・受入槽 (G11V10) : 液位, 密度, 圧力
- ・回収液槽 (G11V20) : 液位, 密度, 圧力
- ・濃縮器 (G12E10) : 液位, 密度, 圧力
- ・濃縮液槽 (G12V12) : 液位, 密度, 圧力
- ・濃縮液供給槽 (G12V14) : 液位, 密度, 圧力

#### ②設備の健全性

トランスミッタラックは配管分岐室に設置している。配管分岐室において蒸気が漏えいした場合においても、計測に用いるトランスミッタラックの導圧管の健全性は維持される。

計測に必要なパージエアについてはガラス固化技術開発施設(TVF)3階のホワイトエリアに設置されている圧空供給設備から供給するが、地下1階の配管分岐室での蒸気漏えいにより影響を受けないことから健全性は維持される。

同様に、建家換気設備についてもガラス固化技術開発施設(TVF)3階のアンバーエリアに設置されていることから、配管分岐室での蒸気漏えいにより影響を受けることなく健全性は維持される。

また、可搬型設備はTVFの建家内において、配管分岐室での蒸気漏えいにより影響を受けない場所(ガラス固化技術開発施設(TVF)の2階エリアにある休憩室(G241))に可搬型設備を配備する。これにより、配管分岐室において蒸気が漏えいした場合においても、設備の健全性は維持される。

#### ③測定方法

液位・圧力の測定は既設の導圧管を用い、既設のトランスミッタラックの三方弁と可搬型

計装設備を接続する(図-3 及び図-4 参照)。圧空供給設備はガラス固化技術開発施設(TVF) 3階のホワイトエリアに設置されており、配管分岐室での蒸気漏えいにより影響を受けることはない。また、圧空供給配管についても蒸気影響を受けないことから、既設の圧空供給設備からパージエアーを供給し測定を行う。

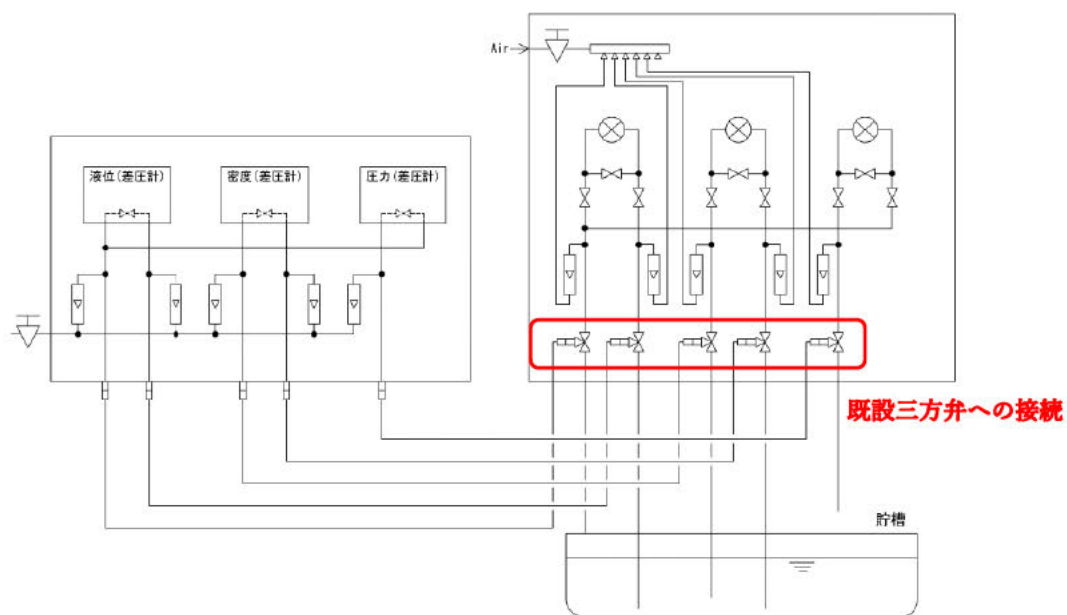


図-3 トランスミッタラックに可搬型計測設備を接続する対策 (イメージ)

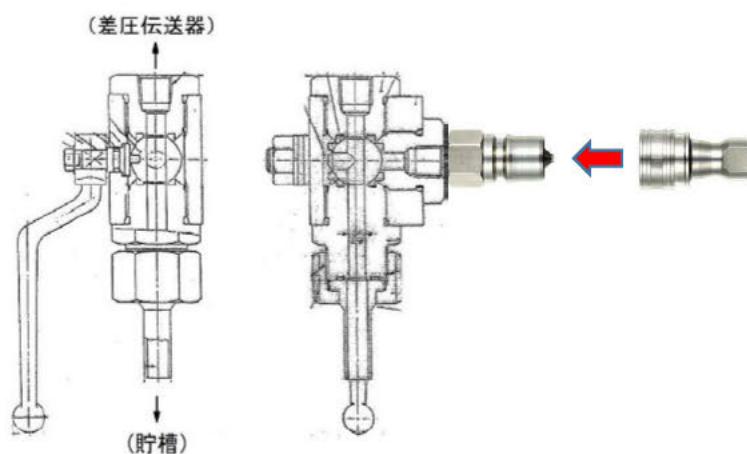


図-4 既設三方弁へのカプラによる接続 (イメージ)

### 3.5 アクセスルート

配管分岐室において蒸気漏えいが発生した場合において、現場状況の把握及び可搬型設備による計測作業を行うためのアクセスルートを確認する。

当該区画内での蒸気漏えいを遮断弁により早期に停止することで区画内の温度上昇、及び隣接するアクセスルートへの蒸気漏えいを防止し、結果として速やかに当該区画にアクセスし、可搬型設備での代替策による計測を可能とする。

アクセスルートは配管分岐室周辺エリアの状況に応じてルートを選定することができるように、迂回路も含めた複数のルートを確認する。建家内のアクセスルートを図5～7に示す。

なお、個々の可搬型計装設備は運転員が1人で運搬可能な大きさ・質量であり、建家内の保管場所（休憩室：G241）から現場までの運搬は、蒸気漏えいが生じた部屋の温度を建家換気で低下させるのに必要な時間内に並行して実施できる。

### 3.6 対策の実施までに要する時間

配管分岐室での蒸気漏えい発生から、可搬型設備による計測回復までに要する時間は、図-2のタイムチャートから2時間以内と評価している。よって、時間裕度（高放射性廃液の沸騰到達時間として56時間、濃縮器の遅延対策に係る時間裕度として26時間を考慮）内での可搬型設備による計測機能の回復が実施可能である。

## 4. 有効性評価の結果

配管分岐室での蒸気漏えいにより既設の計測機能が機能喪失した場合の可搬型設備による対策の有効性について、対応要員、対応設備及び所要時間について評価し、可搬型設備での代替策による計測を機能回復する対策が実施可能であることを確認した。

図-2 可搬型設備による貯槽液位等の計測 (タイムチャート)



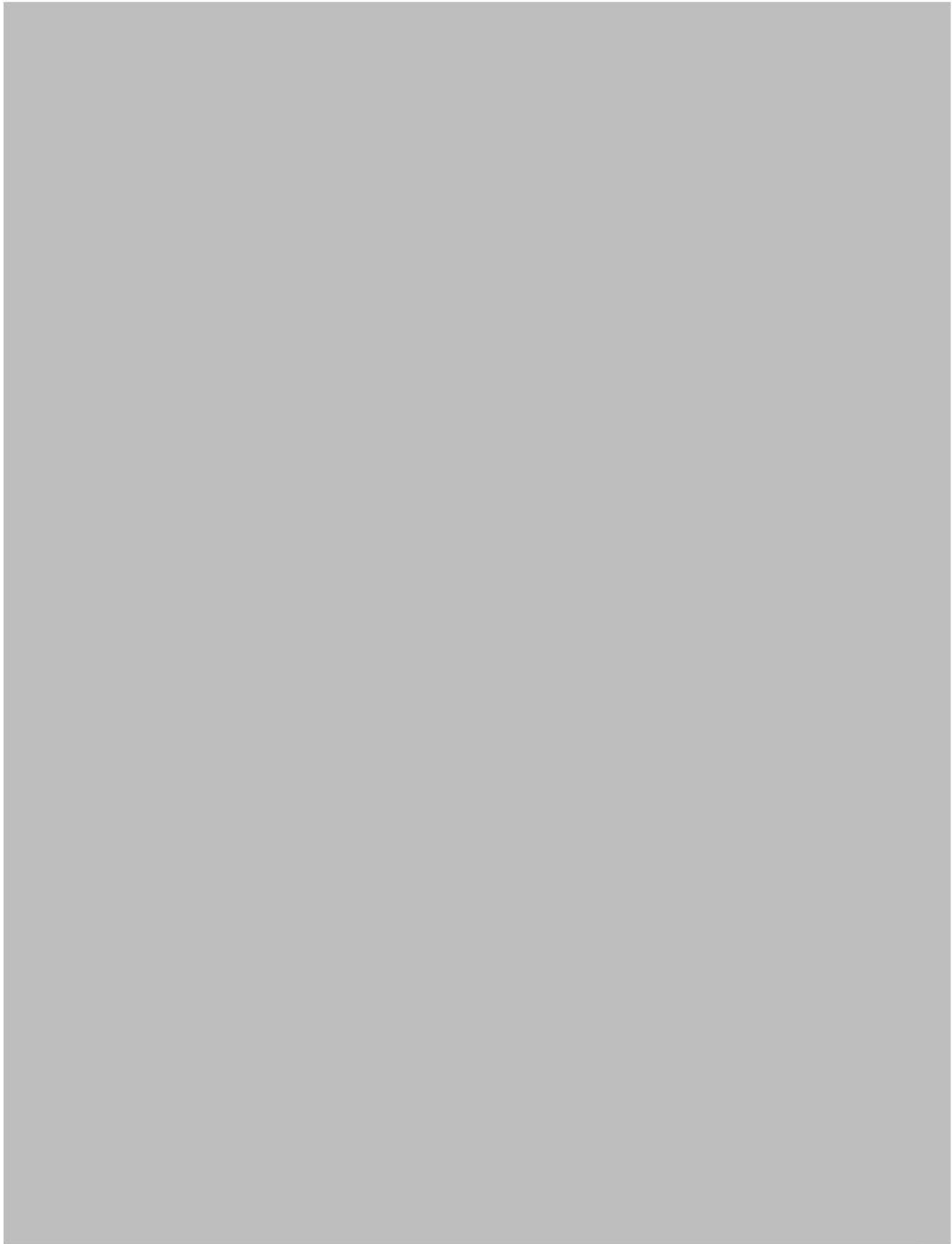


図5 配管分岐室(A024及びA025)への移動ルート(2階)



図6 配管分岐室(A024及びA025)への移動ルート (1階)





図7 配管分岐室(A024及びA025)への移動ルート (地下1階)