

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 23 R2
提出年月日	令和4年 <u>10月7日</u>

## 設工認に係る補足説明資料

### 耐震設計の基本方針に関する

### 機器と配管の相対変位に対する設計上の扱いについて

1. 文章中の下線部は、R1 から R2 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R1)は、令和4年6月10日に提示した「機器と配管の相対変位に対する設計上の扱いについて R1」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である第1回申請で説明する範囲の明確化等記載を見直したものである。

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 機器と配管の相対変位に対する設計方針 .....	2
3. 機器と配管の相対変位に対する設計内容 .....	2
4. 機器と配管の相対変位に対する影響確認 .....	6
5. まとめ .....	6

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

## 1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設における機器及び配管系の耐震設計方針のうち、機器と配管の相対変位に対する設計上の扱いについて補足説明するものである。本内容は、「地震 00-01 本文、添付書類、補足説明項目への展開（地震）」の「別紙3 基本設計方針の添付書類への展開」において、設計方針に対する補足説明が必要な事項を抽出した結果であり、以下に示す添付書類が該当する。

- ・ 再処理施設 添付書類「IV-1-1-10 機器の耐震支持方針」
- ・ 再処理施設 添付書類「IV-1-1-11-1 配管の耐震支持方針」
- ・ MOX燃料加工施設 添付書類「III-1-1-10 機器の耐震支持方針」
- ・ MOX燃料加工施設 添付書類「III-1-1-11-1 配管の耐震支持方針」

なお、本資料は第2回申請以降の再処理施設及びMOX燃料加工施設に対しても適用し、廃棄物管理施設について別途整理するものとする。

機器及び配管系の設計に当たっては、耐震設計に係る基本方針に基づき設計することにより耐震性を担保しており、個別設備に関する設計方針の担保としては、耐震計算書にて設備自体の耐震性が確保されることをもって示しているが、他設備との取り合い等の設計については、双方の影響を考慮した設備配置上の配慮を行った設計としている。これら設備同士の取り合い等に該当する設計方針としては、機器と配管の相対変位、建屋間相対変位<sup>\*1</sup>が該当する。

\*1：建屋間相対変位に対する設計上の対応については、配管の申請として設計方針の標準支持間隔法であることから、補足説明資料「耐震機電 16 配管系の評価手法（定ピッチスパン法）について」に示す。

ここでは、機器と配管の相対変位に対する考慮事項として、機器と配管の振動挙動が異なることを踏まえたサポート構造、配管経路、機器、配管双方の変位に対する配置等の設計における配管のフレキシビリティによる設計上の考慮方法を示す。

これら機器と配管の取合いに対する設計上の考慮方法としては、剛性が高い機器<sup>\*2</sup>（以下「剛な機器」という。）及び剛性の低い機器<sup>\*2</sup>（以下「剛ではない機器」という。）共に同様の設計を行っており、第1回申請では配管と取合い部である安全冷却水B冷却塔の管束を代表として剛な機器と取合う配管への影響について示す。

なお、剛ではない機器の影響については、後次回申請にて示す。

\*2：機器・配管系の1次固有周期が0.05s以下の場合は剛な機器、0.05sを超える場合は剛ではない機器としている。

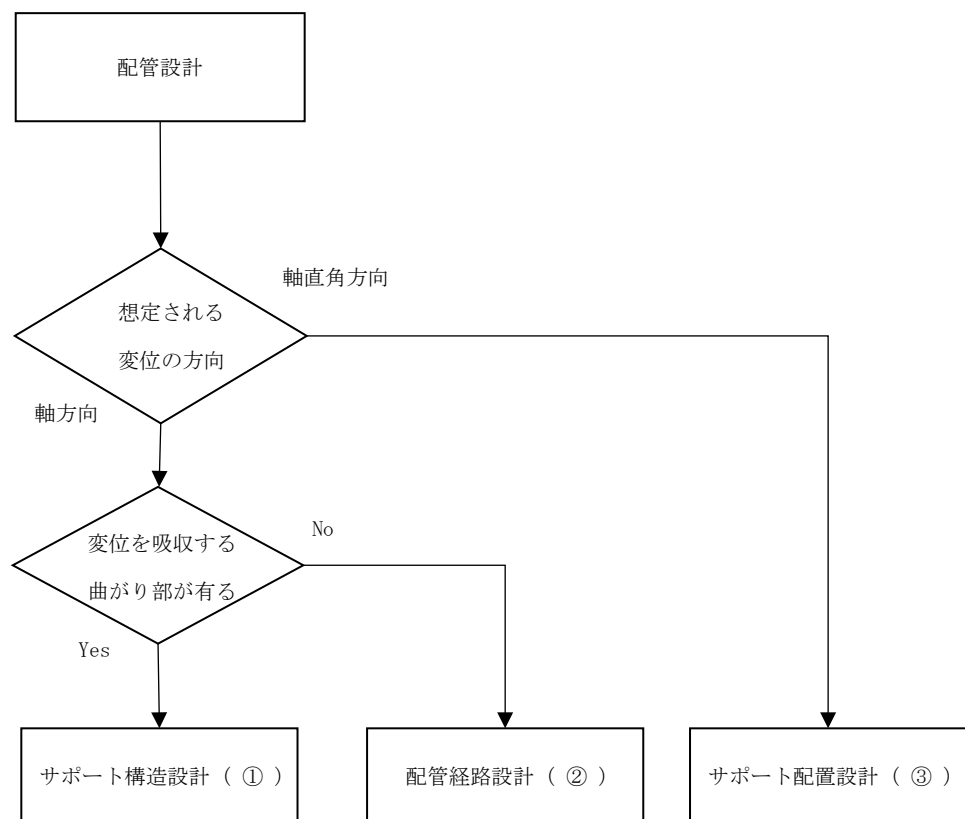
## 2. 機器と配管の相対変位に対する設計方針

機器と配管の相対変位は、機器又は配管それぞれの振動挙動が異なることにより生じ、地震時の振動による変形量が変位となる。地震時の変位には、設備の剛性と地震力が影響し、そのうち設備の剛性については、剛な機器では地震時の振幅は小さく変形が小さいことによって変位は小さくなり、剛ではない機器では振幅が大きくなり変位も大きくなることから、機器は原則十分剛に設計することとしている。

また、機器と配管の相対変位に対する設計としては、配管のサポート構造、配置及び配管経路に対する配置上の制限にて、変位による耐震健全性への影響が生じないような設計を行っている。

## 3. 機器と配管の相対変位に対する設計内容

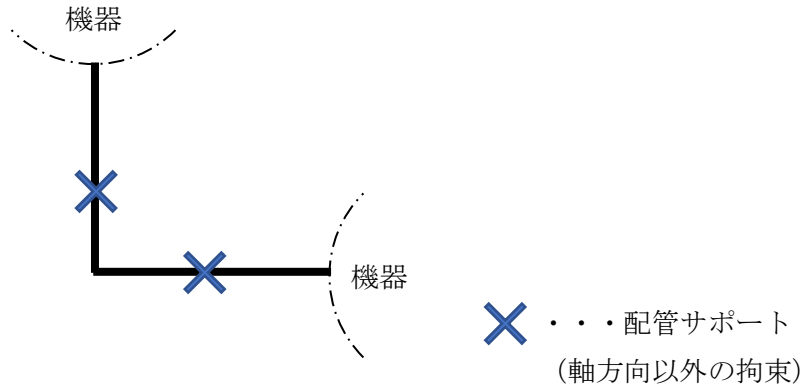
機器と配管の相対変位に対する設計としては、機器側の振動により発生する相対変位は微小であるが、構造上配管側に過大な反力が生じないように、配管側にて変位を吸収できるようなフレキシビリティを設けることで設計上の考慮を行っている。配管設計に対する流れを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図 変位に対する設計のイメージ図

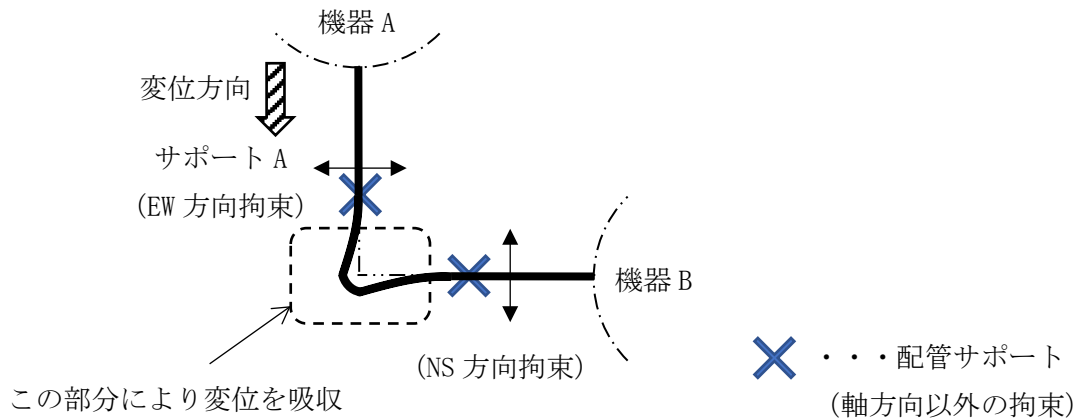
① サポート構造設計

サポートが変位を拘束することにより変位による荷重が過大とならないようなサポート配置，又は変位が生じる方向を拘束しないサポート構造を選定する設計としている。サポート配置のイメージ図を第3-2図に示す。



第3-2図 サポート配置イメージ図

第3-2図に示すとおり，軸方向を拘束しない構造のサポートを配置することにより，機器に変位が生じた場合においても変位を拘束しないことで荷重は過大とならない。第3-3図にそれぞれの機器の変位が生じた場合の変位と拘束のイメージを示す。

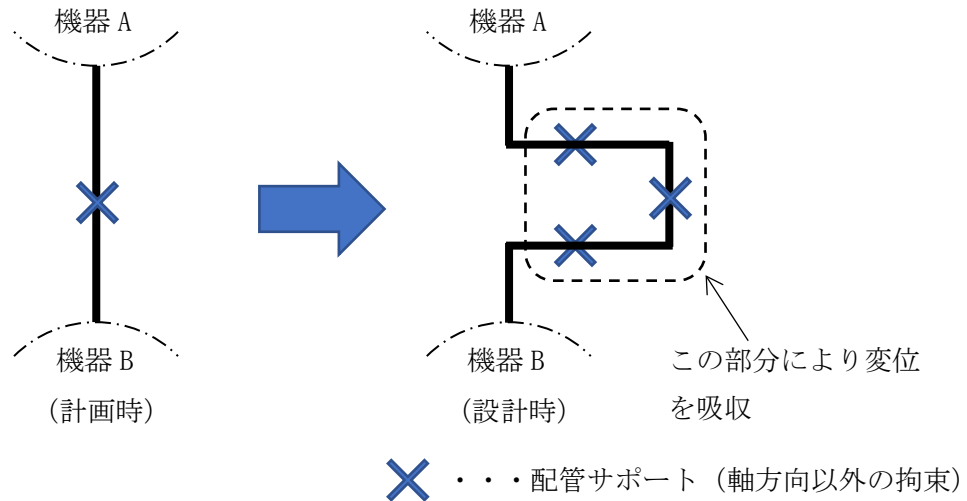


第3-3図 サポートによる変位と拘束のイメージ図

機器 A から機器 B に伝達される変位は，サポート A が軸方向荷重を拘束しないことで，機器 A には変位の反動による荷重が発生しない。また，サポート A の先の曲がり部で変位を吸収するため機器 B に作用する荷重は小さくなる。

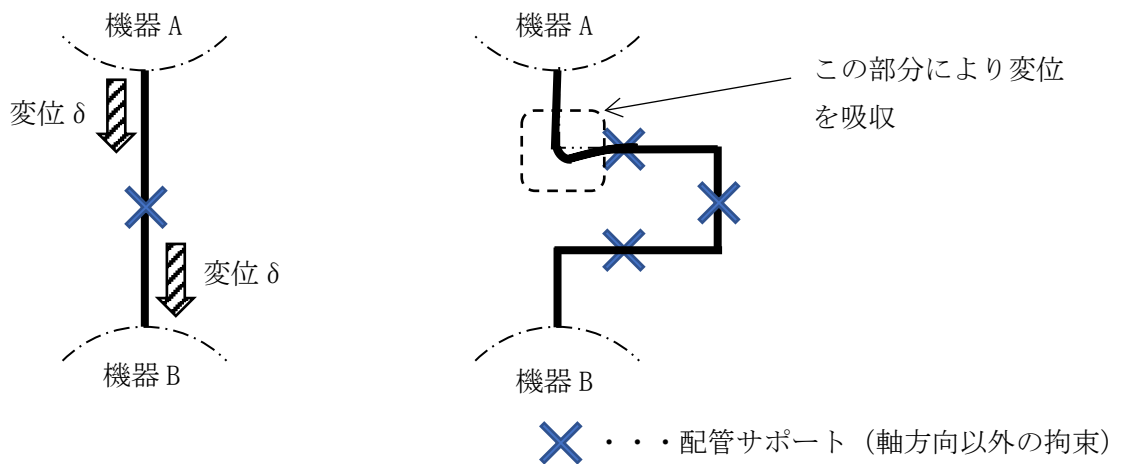
② 配管経路設計

配置上第 3-2 図に示すサポート構造設計による変位の吸収が困難である場合には、配管の布設ルートにおいて変位を拘束しないような配管経路又はサポート配置としている。配管経路の設計イメージを第 3-4 図に示す。



第 3-4 図 配管経路の設計イメージ図

第 3-4 図に示す配管経路設計では、機器 A から配管に生じる変位について、軸方向の剛性が大きい直線的な経路ではなく、フレキシビリティとして、曲がり部を取り入れて剛性を下げ、配管側で変位を吸収する設計としている。第 3-5 図に変位が生じた場合のイメージを示す。



第 3-5 図 配管経路による変位発生イメージ図

機器 A から機器 B に伝達される変位は、曲がり部が無い場合機器 A から生じた全てが伝わるが、配管経路設計により曲がり部を設けることで変位を吸収する箇所ができるため、変位によって機器 B に作用する荷重は曲がり部を設けない場合に比べ小さくなる。

その他配管側のフレキシビリティとしては、上記①及び②の設計上の考慮を踏まえた上で、配管の一次応力と二次応力のどちらかが過度に発生することが無く最適となるよう、サポート間の配置設計で変位を吸収する設計としている。

### ③ サポート配置設計

変位に対しては、拘束される支持長さ  $L$  が長い方が変位を吸収できることから、剛性が低く変位が大きな機器と取合う配管に対して、機器から受ける変位による影響が過大とならないようサポートによる拘束位置を変位が生じる位置から遠ざけ、過度な荷重が生じないサポート配置としている。

変位に対する支持長さとは荷重について、一端を固定端とした片持ちはりを用い、同じ変位  $\delta$  が生じた場合の距離  $L$  と荷重  $F$  によりそれぞれの関係のイメージ図を第3-6図に示す。

変位は、 $\delta = \frac{FL^3}{3EI}$  より、求める。

ここで、 $F$  : 荷重

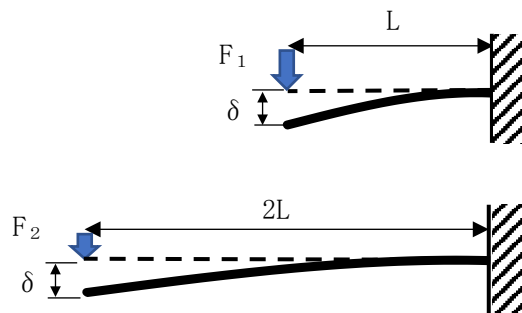
$L$  : 支持長さ

$E$  : 縦弾性係数

$I$  : 断面二次モーメント

長さ  $L$  の場合の変位  $\delta = \frac{F_1 L^3}{3EI}$

長さ  $2L$  の場合の変位  $\delta = \frac{8F_2 L^3}{3EI}$



第3-6図 変位に対する距離と荷重の関係イメージ図

第3-6図に示すとおり、配管に係る変位を同じとした場合、支持長さである  $L$  を2倍にすることで変位点における荷重  $F_2$  は  $F_1$  の約  $1/8$  と小さくなる。

次項では、機器側から生じる変位が配管側に与える影響について示す。

#### 4. 機器と配管の相対変位に対する影響確認

機器と配管の相対変位については、設備の配置設計を行うことで変位による影響を小さくしており、同一床面に設置される機器と配管は一体となって振動することからさほど大きくならない傾向となるが、剛な機器に比べ剛ではない機器の方が共振により生じる変位は大きくなる傾向にある。

ここでは、剛な機器と剛ではない機器の変位による影響について示す。

##### (1) 剛な機器の変位による影響

剛な機器については、第1回申請設備である安全冷却水B冷却塔の管束を代表として確認した結果、機器の変位が生じないこと及び変位が吸収できるような配管設計を行っているため、配管の健全性へ影響を与えない設計であることを確認した。確認結果を別紙-1に示す。

##### (2) 剛ではない機器の変位による影響

剛ではない機器については、当該設備を申請する後次回で示す。

#### 5. まとめ

機器と配管の取合いに対する設計については、変位による影響が生じない配置設計上の考慮として、配管のサポート構造、配置及び配管経路の設計にて、変位を吸収することで配管の健全性へ影響を与えない設計を行っている。

これらの設計について、剛な機器及び剛ではない機器それぞれで影響確認を行うこととし、第1回申請では剛な機器の代表として安全冷却水B冷却塔の管束に対して確認した結果、以下の要因から配管の健全性へ影響を与えない設計であることを確認した。

- ・剛な機器は、配管に影響を与えるような変位は生じない。
- ・配管設計におけるサポート間距離は、標準支持間隔法、多質点系はりモデルによる解析いずれの評価方法によらず数メートル程度であるため、変位が吸収できるような配管設計となっている。

なお、剛な機器については安全冷却水B冷却塔の管束を代表で確認しており、後次回申請においては、剛ではない機器の変位による影響について示す。



# 別紙

## 耐震機電23 【機器と配管の相対変位に対する設計上の扱いについて】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	剛な機器に生じる変位に対する影響	10/7	1	
別紙-2	剛ではない機器に生じる変位に対する影響			後次回で示す

令和4年10月7日 R1

## 別紙－1

剛な機器に生じる変位に対する影響

## 目次

1. 概要	別紙 1-1
2. 影響検討	別紙 1-1
2.1 検討方針	別紙 1-1
2.2 検討条件	別紙 1-1
2.3 検討結果	別紙 1-2
2.3.1 管束に生じる変位	別紙 1-2
2.3.2 配管に生じる二次応力	別紙 1-3
3. まとめ	別紙 1-4

## 1. 概要

本資料は、剛な機器に生じる変位による配管への影響について確認するものである。

## 2. 影響検討

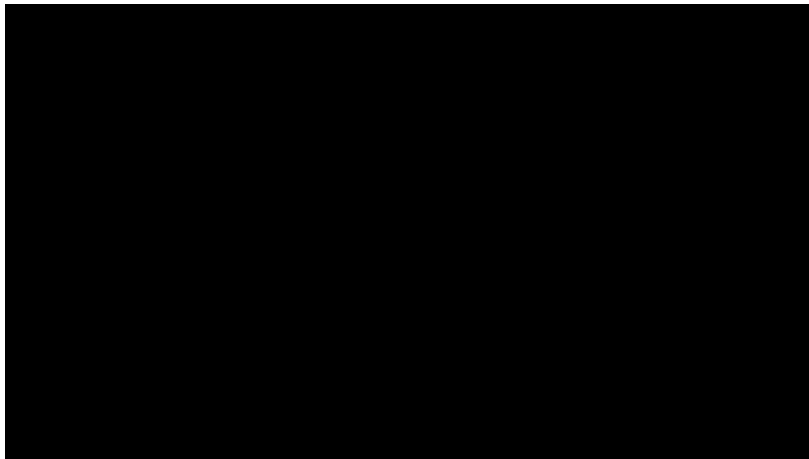
### 2.1 検討方針

安全冷却水 B 冷却塔は、冷却水の流路であり [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] であることから、本資料は管束と取合う配管に対して影響確認を行う。

また、管束に生じる変位及びその変位を用いて発生する二次応力の算出結果を次項に示す。

### 2.2 検討条件

管束の構造について第 2.2-1 図に、管束に生じる変位の算出における検討条件を第 2.2-1 表に示す。



第 2.2-1 図 管束と配管の取合いについて

第 2.2-1 表 検討条件

地震荷重	基準地震動 $S_s$ (13 波) 700gal
拘束条件	[REDACTED]
変位算出点	第 2.2-1 図に示す

## 2.3 検討結果

### 2.3.1 管束に生じる変位

管束に生じる変位  $\delta$  は、機器の剛性  $K$  と機器に作用する地震力  $F$  を用いて下式により算出した。ここで、算出する変位は考慮する剛性が低いことにより大きくなる水平方向変位とし、XXXXXXXXXX を考慮した。

$$\delta = F/K = \text{XXXXXXXXXX} \text{ mm}$$

ここで、

$$F = m \cdot a = \text{XXXXXXXXXX} \text{ N}$$

$m$  : 機器の質量 (= XXXXXXXXXX kg)

$a$  : 水平地震加速度 (= XXXXXXXXXX m/s<sup>2</sup>)

$$K = \frac{1}{\frac{L^3}{3E \cdot I} + \frac{L}{G \cdot A_e}} = \text{XXXXXXXXXX} \text{ N/mm}$$

$L$  : 変位算出高さ (= XXXXXXXXXX mm)

$E$  : 縦弾性係数 (= XXXXXXXXXX MPa)

$I$  : 断面二次モーメント (= XXXXXXXXXX mm<sup>4</sup>)

$G$  : せん断弾性係数 (= XXXXXXXXXX MPa)

$A_e$  : せん断断面積 (= XXXXXXXXXX mm<sup>2</sup>)

### 2.3.2 配管に生じる二次応力

管束に生じる変位  $\delta$  に対して配管側に生じる二次応力  $\sigma$  を求める。応力の算出方法は補足説明資料「耐震機電 16 配管系の評価手法(定ピッチスパン法)について」に示す建屋間相対変位評価式を用いて、機器の水平変位に対する二次応力を算出する。

耐震機電 16 配管系の評価手法 (定ピッチスパン法) について 抜粋

$L'$  : 建屋間を渡る配管の直管部長さ

$\delta$  : 建屋間相対変位

$W = \frac{3EI\delta}{L^3}$  : 建屋間相対変位により生じる荷重(出典：機械工学便覧)

$M = WL'$  : 建屋間相対変位により生じるモーメント(出典：機械工学便覧)

$\sigma = \frac{i_2 M}{Z}$  : 二次応力(出典：JEAG4601)

管束と取り合う配管仕様

口径：■■■■ mm  
 板厚：■■ mm  
 材質：■■■■  
 直管部長さ：■■■■ mm

二次応力  $\sigma$  を算出した結果

$$\sigma = \frac{i_2 M}{Z} = \text{■■■■} \text{ (MPa)}$$

本結果で示すとおり、剛な機器である管束に発生する変位は■■■■ mm程度と非常に小さく、その変位から発生する配管の二次応力は■■ MPa程度であるため、材料の降伏応力  $S_y$  ■■■ MPaに比べても非常に軽微であることを確認した。

変位が小さく、影響が軽微となった理由としては、剛な設備に生じる変位は非常に小さいこと、また、配管側の拘束点は機器近傍ではなく定ピッチスパン法により機器より数メートル程度離れた位置で支持するため、発生する変位に対して変位を吸収する配管長さが十分長いからである。

### 3. まとめ

剛な機器と配管の取合いについては、剛な機器による変位は非常に小さく、更に変位を吸収できるようなフレキシビリティを有する配管設計を行っているため、配管の健全性に影響を与えない。