

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 23 R <u>1</u>
提出年月日	<u>令和4年6月10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，R0 から R1 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R0)は，令和3年12月22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 R0」に対し，ヒアリングにおける主な指摘事項である本補足説明資料作成理由，剛な設備，剛ではない設備の判断基準の追記に合わせて概要の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	1
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	6
5. まとめ	<u>6</u>

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、MOX 燃料加工施設、再処理施設及び廃棄物管理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 「IV-1-1-10 機器の耐震支持方針 5.(1)機器と配管の相対変位に対する考慮」

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、耐震計算書のなかで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、建屋間相対変位が該当する。

ここでは、機器と配管の相対変位に対する配慮事項として、機器、配管双方の変位に対する配置設計、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した上で、それらの機器と配管の相対変位により機器に過大な反力が生じていないことについて、剛性が高い機器*（以下、「剛な機器」という）及び剛性が低い機器（以下、「剛ではない機器」という）に生じる変位による影響を示す。

なお、建屋間相対変位に対する設計上の対応については、配管の申請としては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。

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

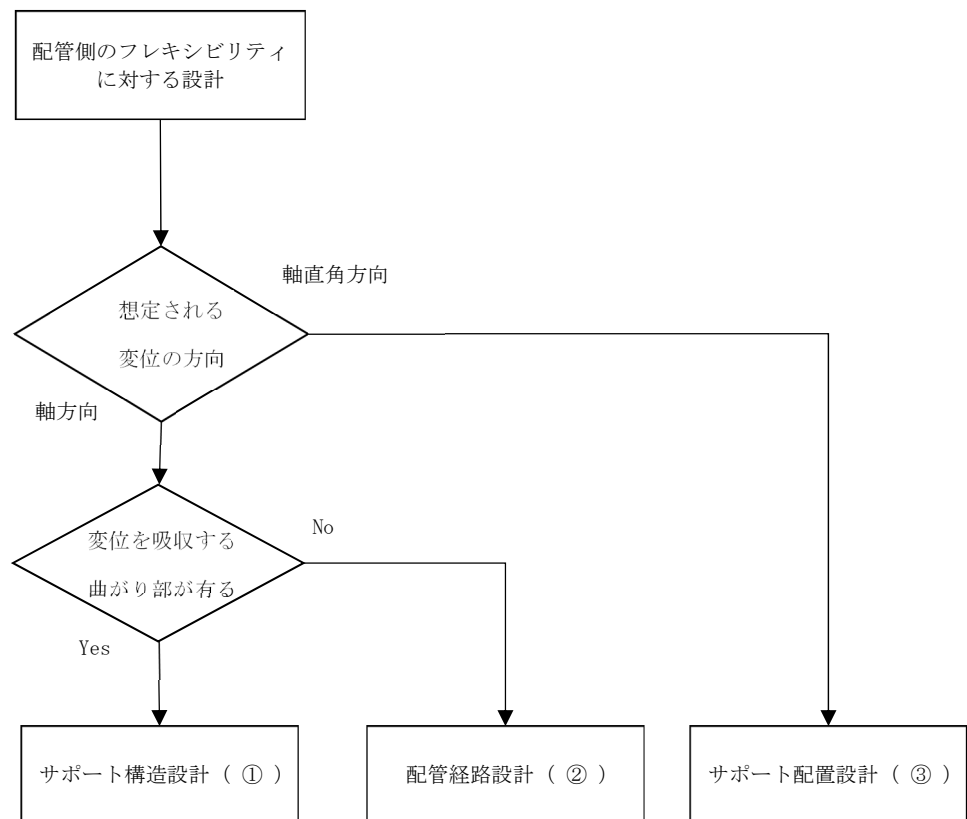
2. 機器と配管の相対変位に対する設計方針

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量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

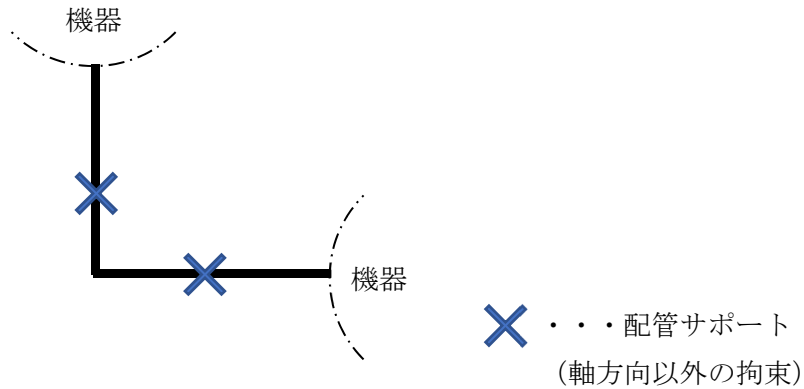
機器と配管の相対変位に対する設計としては、機器側の振動により発生する相対変位は微小であるが、構造上配管側に過大な反力が生じないように、配管側にて変位を吸収できるようなフレキシビリティとして第3-1図に示すイメージ図の通り設計上の考慮を行っている。



第3-1図 変位に対する設計のイメージ図

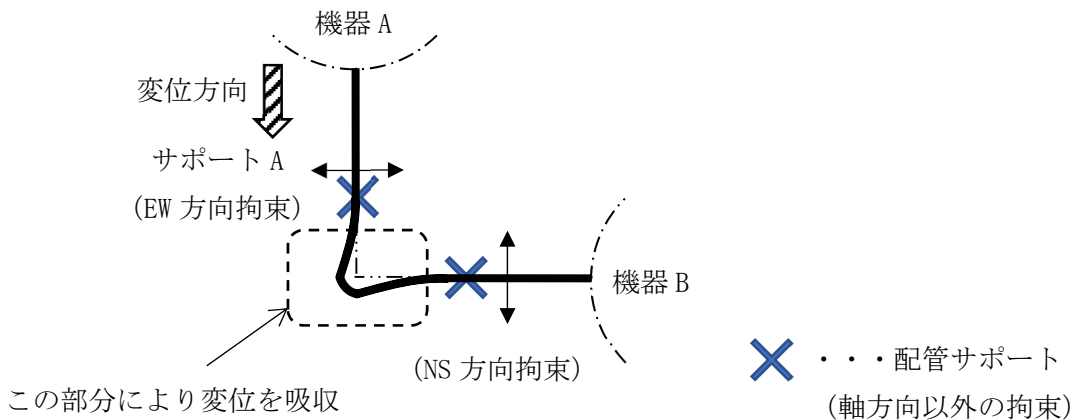
① サポート構造設計

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図に示す通り，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。

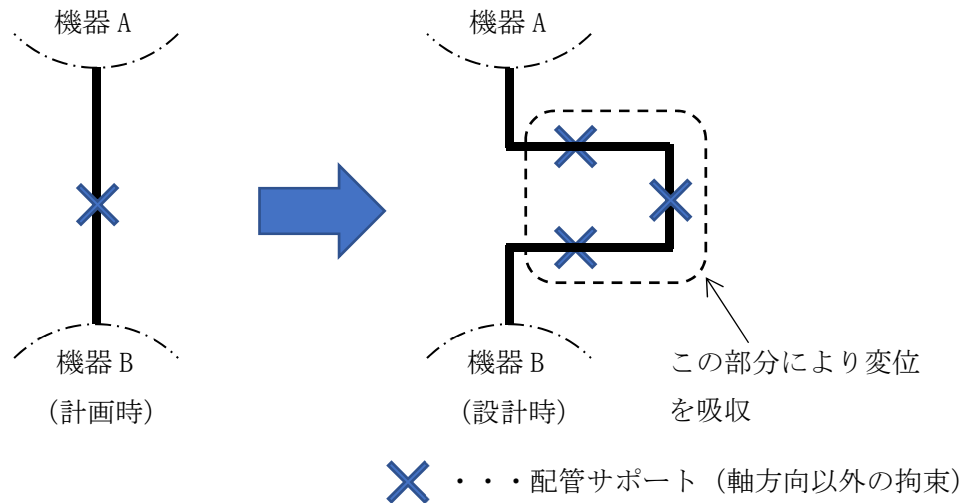


第3-3図 サポートによる変位と拘束のイメージ図

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。

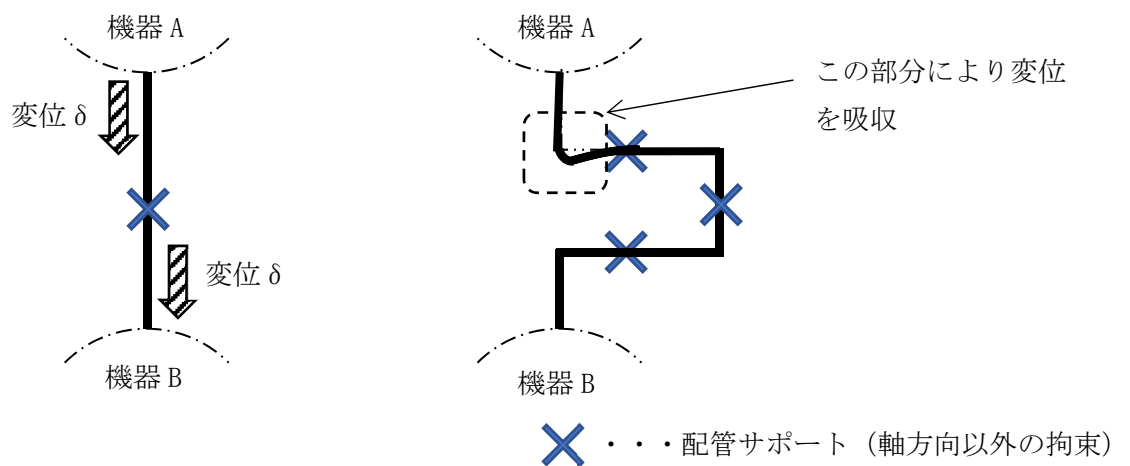
② 配管経路設計

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、過度な変位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 δ 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

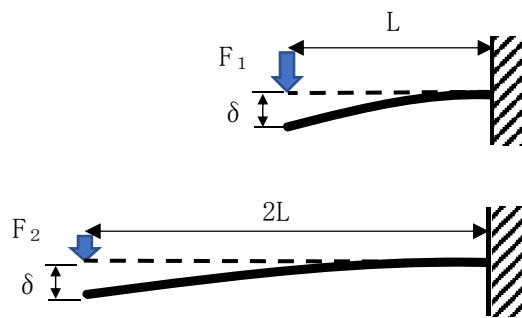
L : 支持長さ

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 図に示す通り、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

機器と配管の相対変位による影響としては、設備の配置設計を行うことで変位を小さくしており、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る傾向となる。また、これら配置設計上の考慮は設計時に全ての機器、配管を対象に行っており、機器、配管共に耐震評価において健全性が確保できている場合は機器からの過大な反力は生じない。

これらの設計については、剛な機器、剛ではない機器のどちらに対しても変位による影響が生じない設計としており、変位量としては剛な機器に比べて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

剛な機器の変位としては、振動振幅が小さいことにより生じる変位量は僅かであり、その場合配管設計における標準支持間隔のサポート間距離が数mあることから、配置設計で行っている配管フレキシビリティにより変位を吸収できるため、配管に影響を与えない設計としている。

剛な機器の変位による影響については、MOX燃料加工施設の第1回申請範囲には対象となる設備がないことから、再処理施設の安全冷却水B冷却塔に対して確認した結果を剛な機器の例として別紙-1に示す。

(2) 剛ではない機器の変位による影響

剛ではない機器の変位については、剛な機器に比べ固有周期が長周期となり振動振幅が大きくなることから、剛な機器に比べ大きな変位量が発生する傾向であり、剛ではない機器の影響については当該設備を申請する後次回で詳細を説明する。

5. まとめ

機器と配管の相対変位については、剛な機器、剛ではない機器のどちらに対しても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設備の健全性への影響が生じない設計としている。

第1回申請範囲においては、剛な機器に対して確認した結果、変位量は小さい傾向であり、配管に影響を与えない設計であることを確認した。

なお、後次回においては、剛な機器に比べて変位により大きな反力が発生する可能性のある剛ではない機器の結果を用いて変位による影響がない設計としていることを示す。

別紙－ 1

剛な機器に生ずる変位に対する影響

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

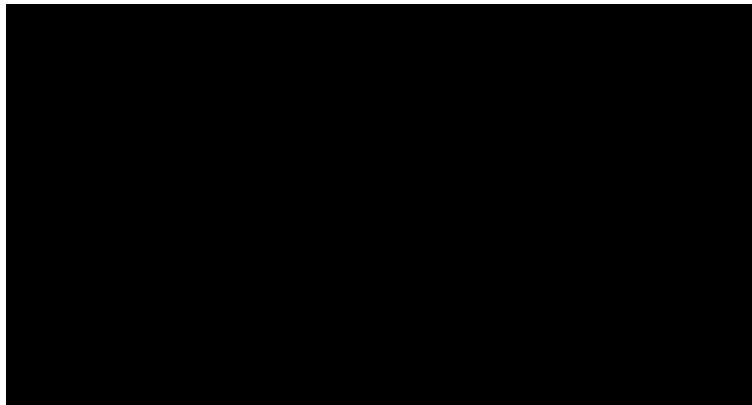
安全冷却水B冷却塔は、冷却水の流路であり

であることから、本資料は管束と取り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	
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 δ 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、[redacted] を考慮した。

$$\delta = F/K = [redacted] \text{ mm}$$

ここで、

$$F = ma = [redacted] \text{ N}$$

m : 機器の質量 (= [redacted] kg)

a : 水平地震加速度 (= [redacted] m/s^2)

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

L : 変位算出高さ (= [redacted] mm)

E : 縦弾性係数 (= [redacted] MPa)

I : 断面二次モーメント (= [redacted] mm^4)

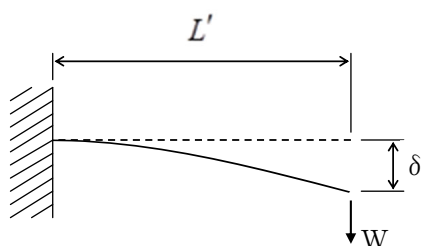
G : せん断弾性係数 (= [redacted] MPa)

A_e : せん断断面積 (= [redacted] mm^2)

2.3.2 配管に生じる二次応力

管束に生じる変位 δ に対して配管側に生じる二次応力 σ を求める。応力の算出方法は「耐震機電 16 耐震設計の基本方針に関する配管系の評価手法（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 耐震設計の基本方針に関する配管系の評価手法（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

δ : 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

$M = WL'$: 建屋間相対変位により生じるモーメント

$\sigma = \frac{i_2 M}{Z}$: 二次応力

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 σ を算出した結果

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

本結果で示す通り、剛の設備に発生する変位は■■■■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、発生する変位量に対して変位を吸収する配管長さが十分長いためである。

3. まとめ

剛な機器と配管の取合いについては、機器から生じる変位は微小な変位となっており、配管に対して過大な応力は生じず、更に配置設計として配管フレキシビリティによる設計を行っているため、施設の健全性に影響を与えない。