

令和 3 年 2 月 3 日
三菱原子燃料株式会社

核燃料輸送物設計承認申請に関するご質問事項への回答
(MX-6P 型核燃料輸送物)

(質問 1)

令和 2 年 12 月 9 日の面談資料 ((□) - A - 202, 203 頁) の熱膨張によるバスケットと容器本体の隙間変化の計算において、軸方向と半径方向の熱膨張計算式中の符号が以下のように異なる理由を説明すること。

$$\text{軸方向} : \Delta L = (L_1 - L_2) - \{L_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2 - L_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1\}$$

$$\text{半径方向} : \Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

(回答 1)

式を展開することで符号関係は同じとなります (計算結果に変更はありません) が、明確な使い分けの意図はないため、補正申請の際に以下のように統一した記載方法に変更致します。

$$\text{軸方向} : \Delta L = (L_1 - L_2) + \{L_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - L_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

$$\text{半径方向} : \Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

同様の記載がある以下の箇所の熱膨張計算式についても変更致します。

- ・ (□) - 第 A. 3 表 ((□) - A - 10, 15 頁*)
- ・ A. 5. 1. 2 ((□) - A - 56, 57 頁*)

(*) 申請時の SAR の頁番号

(質問 2)

前頁の熱膨張計算 (-40°C から $\square^{\circ}\text{C}$ まで変化する場合)における線膨張係数の選定根拠を説明すること。

(回答 2)

令和 2 年 12 月 9 日の面談資料 ((口) - A - 202, 203 頁)における線膨張係数 α_1, α_2 は、本輸送容器の場合、バスケットの線膨張係数と本体の線膨張係数の差 ($\alpha_2 - \alpha_1$) を大きくしたほうが安全側の評価となるため、 -40°C 基準ではなく、この差がより大きい 20°C 基準での $\square^{\circ}\text{C}$ の線膨張係数を使用しています。

本輸送容器において、バスケットの線膨張係数と本体の線膨張係数の差を大きくしたほうが安全側の評価になる理由を添付-1 に示します。

なお、 20°C 基準の線膨張係数と -40°C 基準の線膨張係数を用いて本体とバスケットの隙間量を評価した結果を表-1 に示します。同表に示されるように、 20°C 基準のほうが安全側の結果となることが確認できます。

表-1 20°C 基準と -40°C 基準の線膨張係数及び隙間量

基準温度	線膨張係数 ($/^{\circ}\text{C}$ ($\square^{\circ}\text{C}$))		$\alpha_2 - \alpha_1$ ($/^{\circ}\text{C}$ ($\square^{\circ}\text{C}$))	隙間量
	本体 α_1	バスケット α_2		
20°C *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	軸方向 : <input type="text"/> mm 半径方向 : <input type="text"/> mm
-40°C *2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	軸方向 : <input type="text"/> mm 半径方向 : <input type="text"/> mm

(*1) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SEC II, Part D (2019)

(*2) 上記出典より推定 (添付-1 参照)

バスケットと本体の線膨張係数の差を大きくしたほうが安全側の評価になる理由

本輸送容器の熱膨張による本体とバスケットの隙間量の変化は、以下の式により求められる。

$$\text{初期隙間量} : \text{Gap}_{\text{ini}} = (D_{\text{body}} - D_{\text{bas}})$$

$$\text{熱膨張後の隙間量} : \text{Gap}_{\text{after}} = (D_{\text{body}} - D_{\text{bas}}) + \{ D_{\text{body}} \times \Delta T \times \alpha_{\text{body}} - D_{\text{bas}} \times \Delta T \times \alpha_{\text{bas}} \}$$

$$\text{隙間量の変化量} : \Delta \text{Gap} = \text{Gap}_{\text{after}} - \text{Gap}_{\text{ini}} = D_{\text{body}} \times \Delta T \times \alpha_{\text{body}} - D_{\text{bas}} \times \Delta T \times \alpha_{\text{bas}} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 D_{body} : 本体の寸法

D_{bas} : バスケットの寸法

ΔT : 基準温度から評価温度までの温度変化

α_{body} : 本体 (ステンレス鋼) の平均線膨張係数

α_{bas} : バスケット (アルミニウム合金) の平均線膨張係数

①式は、バスケットと本体の平均線膨張係数の差分 ($\alpha_{\text{bas}} - \alpha_{\text{body}}$) に着目すると、次のように表せる。

$$\Delta \text{Gap} / \Delta T = (D_{\text{body}} - D_{\text{bas}}) \times \alpha_{\text{body}} - D_{\text{bas}} \times (\alpha_{\text{bas}} - \alpha_{\text{body}}) \quad \dots \textcircled{2}$$

②式において、 $D_{\text{body}} - D_{\text{bas}} \ll D_{\text{bas}}$ であることから、隙間量の変化は $D_{\text{bas}} \times (\alpha_{\text{bas}} - \alpha_{\text{body}})$ が支配的であり、この項を大きく見込むことが安全側の評価を与えることになる。

回答本文に記載のとおり、 -40°C 基準の平均線膨張係数よりも 20°C 基準の平均線膨張係数が大きくなるため、評価においては 20°C 基準の平均線膨張係数を使用する。

なお、 -40°C 基準における平均線膨張係数は図-1, 2に示すように瞬間線膨張係数より推定した。

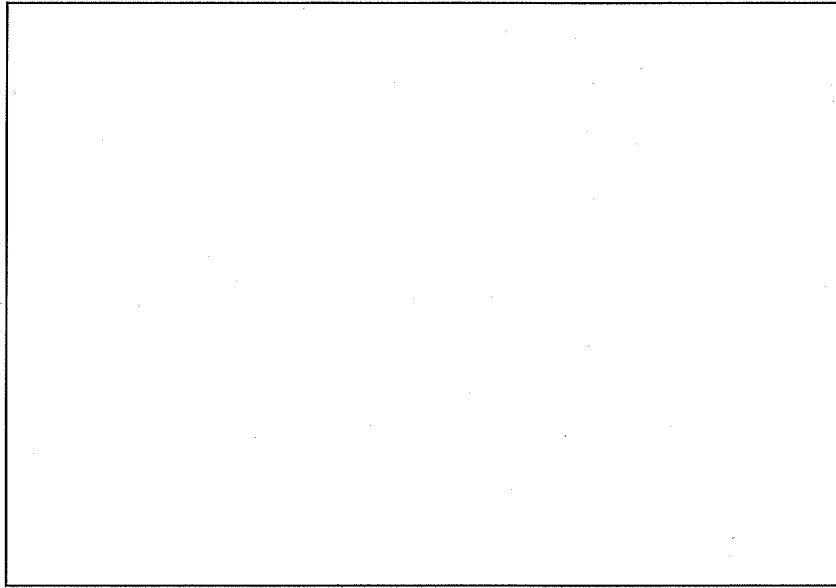


図-1 本体の線膨張係数

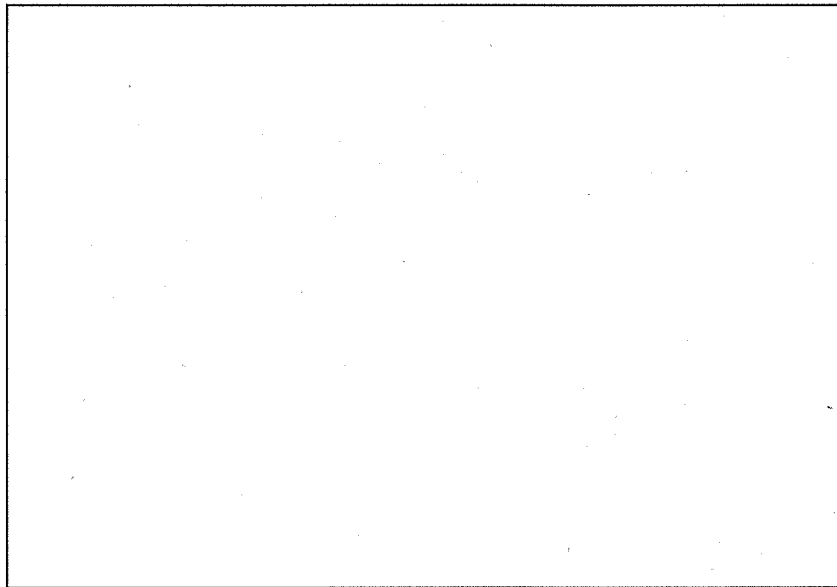


図-2 バスケットの線膨張係数

−40°C基準の平均線膨張係数は、−40°Cまでの瞬間線膨張係数を線形外挿により推定し、以下の式より算出した。

$$\alpha_{\text{mean}} = \frac{\int_{T_0}^{T_n} \alpha_{\text{ins}}(T) dT}{T_n - T_0}$$

- α_{mean} : 平均線膨張係数 (T_0 を基準とした T_n での値)
- α_{ins} : 瞬間線膨張係数
- T_n : 評価温度
- T_0 : 基準温度

[1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SEC II, Part D (2019)