

資料6 強度に関する説明書

## 目 次

### 資料 6 強度に関する説明書

#### 資料 6-1 強度計算の基本方針の概要

##### 資料 6-1-1 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

##### 資料 6-1-2 重大事故等クラス 2 機器の強度計算の基本方針

#### 資料 6-2 強度計算方法の概要

##### 資料 6-2-1 原子炉格納容器の強度計算方法

##### 資料 6-2-2 重大事故等クラス 2 容器（原子炉格納容器）の強度計算方法

#### 資料 6-3 強度計算書の概要

##### 資料 6-3-1 原子炉格納容器の強度計算書

##### 資料 6-3-2 重大事故等クラス 2 容器（原子炉格納容器）の強度計算書

#### 別紙 計算機プログラム（解析コード）の概要

資料 6 - 1 強度計算の基本方針の概要

目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-1-1



## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条に規定されている設計基準対象施設又は第55条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器の材料及び構造について、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

今回、取替を実施する原子炉格納容器貫通部が原子炉格納容器及び重大事故等クラス2機器として十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。強度計算の基本方針については、以下の資料により構成する。

資料6-1-1 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

資料6-1-2 重大事故等クラス2機器の強度計算の基本方針

資料 6 - 1 - 1 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-1-1-1
2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針 .....	M3-添6-1-1-2

## 1. 概要

原子炉格納容器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第5号及び第12号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は、今回新たに改造を実施する原子炉格納容器（電線貫通部スリーブ）が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

## 2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

原子炉格納容器の材料及び構造については、技術基準規則第17条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「技術基準規則の解釈」という。）第17条11において、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JSME S NC1-2005/2007又はJSME S NC1-2012）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されているJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、今回新たに改造を実施する原子炉格納容器の評価は、JSME S NC1-2012（以下「JSME」という。）による評価を実施する。なお、JSMEの適用に当たって、あわせて日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格」（JSME S NJ1-2012）（以下「材料規格」という。）を適用する。

今回新たに改造を実施する原子炉格納容器の材料については、材料規格に規定されている材料を使用する設計とする。

なお、原子炉格納容器の設計仕様となる最高使用温度等の数値の根拠については、資料4「設備別記載事項の設定根拠に関する説明書」による。

資料 6-1-2 重大事故等クラス 2 機器の強度計算の基本方針

目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-1-2-1
2. 重大事故等クラス2機器の強度計算の基本方針 .....	M3-添6-1-2-2

## 1. 概要

重大事故等クラス2機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第55条第1項第2号及び第5号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は、今回新たに改造を実施する重大事故等クラス2機器である原子炉格納容器（電線貫通部スリーブ）が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。



## 2. 重大事故等クラス2機器の強度計算の基本方針

重大事故等クラス2機器の材料及び構造については、技術基準規則第55条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い、技術基準規則第17条（材料及び構造）設計基準対象施設の規定を準用する。

また、技術基準規則の解釈第17条11において、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JSME S NC1-2005/2007又はJSME S NC1-2012）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されているJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。よって、今回新たに改造を実施する重大事故等クラス2機器の評価は、JSME S NC1-2012（以下「JSME」という。）による評価を実施する。なお、JSMEの適用に当たって、あわせて日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格」（JSME S NJ1-2012）（以下「材料規格」という。）を適用する。ただし、材料規格における許容引張応力（S値）は、JSME S NC1-2005/2007付録材料図表の値に読み替えるものとする。今回改造を行う重大事故等クラス2機器の材料については、材料規格に規定されている材料を使用する設計とする。

なお、重大事故等クラス2機器の設計仕様となる最高使用温度等の数値の根拠については、資料2「設備別記載事項の設定根拠に関する説明書」による。

資料 6 - 2 強度計算方法の概要

目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-2-1

## 1. 概要

本資料は、資料6-1「強度計算の基本方針の概要」に基づき、原子炉格納容器及び重大事故等クラス2機器が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものであり、以下の資料により構成する。

資料6-2-1 原子炉格納容器の強度計算方法

資料6-2-2 重大事故等クラス2容器（原子炉格納容器）の強度計算方法

資料 6 - 2 - 1 原子炉格納容器の強度計算方法

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-2-1-1
2. 原子炉格納容器の強度計算方法 .....	M3-添6-2-1-2
2.1 記号の定義 .....	M3-添6-2-1-2
2.2 強度計算方法 .....	M3-添6-2-1-10
3. 強度計算書のフォーマット .....	M3-添6-2-1-45
3.1 強度計算書のフォーマットの概要 .....	M3-添6-2-1-45
3.2 記載する数値に関する注意事項 .....	M3-添6-2-1-45
3.3 強度計算書のフォーマット .....	M3-添6-2-1-45

## 1. 概要

本資料は、資料6-1-1「原子炉格納容器の強度計算の基本方針」に基づき、原子炉格納容器が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2012年版）＜第I編 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2012」（日本機械学会）（以下「JSME」という。）の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり、原子炉格納容器のうち電線貫通部を構成するスリーブ、端板及び本体の強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

また、材料の許容値については、「発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版） JSME S NJ1-2012」（日本機械学会）（以下「材料規格」という。）に基づくものとする。

なお、電線貫通部の本体の許容値については、材料規格に基づくものとするが、材料がSTS480であることから、許容引張応力は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格2005（2007） JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「JSME 2005/2007」という。）のS値に読み替えるものとする。

## 2. 原子炉格納容器の強度計算方法

### 2.1 記号の定義

電線貫通部 本体および端板の強度計算、スリーブの強度計算に用いる記号について、以下に説明する。

#### (1) 電線貫通部 本体および端板の強度計算に使用するもの

	記号	単位	定義
本体および端板の強度計算に使用するもの	P	MPa	最高使用圧力
	$D_i$	mm	本体内径
	d	mm	端板外径
	$S_{mc}$	MPa	138℃における材料規格 Part3 第1章 表3に規定する値の1.1倍と、表6に規定する値の0.9倍のうち小さい方の値の端板材料の許容引張応力
	$S_{mc1}$	MPa	最高使用温度における JSME 2005/2007 付録材料図表 Part5 表3に規定する本体材料の許容引張応力
	$S_{mc2}$	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章表3に規定する値の1.1倍と、表6に規定する値の0.9倍のうち小さい方の値の端板材料の許容引張応力
	$t_{sr1}$	mm	本体の計算上必要な厚さ
	$t_1$	mm	本体の最小使用厚さ
	$t_{sr2}$	mm	端板の計算上必要な厚さ
	$t_2$	mm	端板の最小使用厚さ
	$\eta$	—	JSME 表 PVE-3240-1 に規定する容器の継手効率の値
	K	—	JSME 表 PVE-3410-1 に規定する平板の取付方法による係数
	$P_m$	MPa	一次一般膜応力強さ
	$P_L$	MPa	一次局部膜応力強さ
	$P_b$	MPa	一次曲げ応力強さ
$P_L + P_b + Q$	MPa	一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さのサイクルにおけるその最大値と最小値の差	



記号	単位	定義
$N_1$	回	大気圧から運転圧力となり、再び大気圧に戻る実際の繰返し回数
$N_a$	回	JSME 添付 4-2 3.2 において $3S_2$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、これに対応する許容繰返し回数
$\Delta P$	MPa	起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅
$A_{m1}$	MPa	圧力変動の全振幅
$S_3$	MPa	JSME 添付 4-2 3.2 において $10^{11}$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
$A_{m2}$	MPa	圧力変動の全振幅
$N_2$	回	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数
$S_a$	MPa	JSME 添付 4-2 3.2 において、 $N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
$\Delta T_1$	°C	起動時及び停止時において、相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差
$p$	mm	任意の 2 点間の距離
$R$	mm	$p$ の値を超えない任意の 2 点における容器の平均半径（半径が異なる場合は、それらの平均値）
$t_3$	mm	$p$ の値を超えない任意の 2 点における容器の厚さ（厚さが異なる場合は、それらの平均値）
$T_1$	°C	温度差
$E_1$	MPa	2 点間の平均温度における材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 に規定する端板材料の縦弾性係数の値
$\alpha_1$	mm/mm°C	2 点間の平均温度における材料規格 Part 3 第 2 章 表 2 に規定する端板材料の瞬時熱膨張係数の値
$N_3$	回	起動停止の回数
$S_{1a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.2 において、 $N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
$\Delta T_R$	°C	起動時及び停止時を除く供用状態 A 及び供用状態 B において、相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差の変動の全振幅

本体および端板の強度計算に使用するもの

	記号	単位	定義
本体および端板の強度計算に使用するもの	$T_2$	°C	温度差変動の全振幅
	$N_4$	回	$T_3$ を超える温度差の変動回数
	$S_{2a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.2 において、 $N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
	$T_3$	°C	温度差変動の全振幅
	$\Delta T_2$	°C	供用状態 A 及び供用状態 B において、材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 及び表 2 に規定する縦弾性係数又は熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変動
	$T_4$	°C	温度の変動
	$E_2$	MPa	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 に規定する本体材料の縦弾性係数の値
	$\alpha_2$	mm/mm°C	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 2 に規定する本体材料の瞬時熱膨張係数の値
	$T_5$	°C	温度の変動
	$N_5$	回	$T_4$ を超える温度差の変動回数
	$S_{3a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.2 において、 $N_5$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値

(2) 電線貫通部スリーブの強度計算に使用するもの

a. 規格計算 (JSME PVE-3010) に使用するもの

	記号	単位	定義
スリーブの強度計算に使用するもの	$D_1$	mm	スリーブ本体の外径
	$P$	MPa	最高使用圧力 (内圧)
	$S_{mc}$	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章 表3 にて規定する値の 1.1 倍と、同表 6 にて規定する値の 0.9 倍のうち小さい方の値
	$t_n$	mm	スリーブ本体の実際使用最小厚さ
	$t_{nr}$	mm	スリーブ本体の必要な厚さ
	$t_{nr1}$	mm	JSME PVE-3611 におけるスリーブ本体の計算上必要な厚さ
	$t_{nr2}$	mm	JSME PVE-3613 におけるスリーブ本体 (炭素鋼鋼管) の必要な厚さ
	$\eta$	-	JSME PVE-3240 によるスリーブ本体の継手効率

b. 応力計算 (JSME PVE-3100) で使用するもの

	記 号	単 位	定 義
スリーブの強度計算に使用するもの	$A_{m1}$	MPa	圧力変動の全振幅
	$A_{m2}$	MPa	圧力変動の全振幅
	$D$	mm	評価点における原子炉格納容器胴板板心直径
	$D_1$	mm	スリーブ本体の外径
	$D_2$	mm	原子炉格納容器の補強板外径
	$D_m$	N・mm	スリーブ本体の曲げ剛性
	$e$	mm	評価点から設計外力作用点までの距離
	$E$	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第 2 章 表 1 に定める縦弾性係数
	$E_3, E_4$	MPa	2 点間の平均温度における材料規格 Part3 第 2 章 表 1 に規定する縦弾性係数の値
	$f_x$	N	原子炉格納容器の電線貫通部本体等から受ける X 方向反力
	$f_y$	N	原子炉格納容器の電線貫通部本体等から受ける Y 方向反力
	$f_z$	N	原子炉格納容器の電線貫通部本体等から受ける Z 方向反力
	$F_x$	N	スリーブに生じる設計外力のうち X 方向反力
	$F_y$	N	スリーブに生じる設計外力のうち Y 方向反力
	$M_{o1}$	N・mm/mm	スリーブ本体に作用する最高使用圧力による不静定荷重 (曲げモーメント)
	$M_{o2}$	N・mm/mm	原子炉格納容器胴板変位による不静定荷重 (曲げモーメント)
$M_z'$	N・mm	評価点に作用する曲げモーメントの合力	

	記 号	単 位	定 義
スリーブの強度計算に使用するもの	$N_1$	回	大気圧から運転圧力となり、再び大気圧に戻る実際の繰返し回数
	$N_2$	回	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数
	$N_3$	回	起動停止の回数
	$N_4$	回	JSME 添付 4-2 3.1 において、 $T_{4c}$ を超える温度差の変動回数
	$N_6$	回	設計外力の繰返し回数
	$N_a$	回	JSME 添付 4-2 3.1 において $3S_{mc}$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、これに対応する許容繰返し回数
	$p$	mm	任意の 2 点間の距離
	$P$	MPa	最高使用圧力 (内圧)
	$\Delta P$	MPa	起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅
	$Q_{o1}$	N/mm	スリーブ本体に作用する最高使用圧力による不静定荷重 (せん断力)
	$Q_{o2}$	N/mm	原子炉格納容器胴板変位による不静定荷重 (せん断力)
	$R$	mm	評価点における原子炉格納容器胴板板心半径
	$R_3$	mm	$p$ の値を超えない任意の 2 点における容器の平均半径 (半径が異なる場合は、それらの平均値)
	$R_m$	mm	評価点におけるスリーブ本体の板心半径
	$S_2$	MPa	JSME 添付 4-2 3.1 において $10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
$S_{2a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.1 において、 $N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値	
$S_{3a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.1 において、 $N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値	

	記 号	単 位	定 義
スリーブの強度計算に使用するもの	$S_{4a}$	MPa	JSME 添付 4-2 3.1 において、 $N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
	$S_6$	MPa	JSME 添付 4-2 3.1 において、荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値
	$S_{mc}$	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 3 にて規定する値の 1.1 倍と、同表 6 にて規定する値の 0.9 倍のうち小さい方の値
	$S_u$	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に定める設計引張強さ
	$S_y$	MPa	最高使用温度又は常温における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める設計降伏点
	$t$	mm	評価点における原子炉格納容器胴板厚さ
	$t_3$	mm	$p$ の値を超えない任意の 2 点における容器の厚さ（厚さが異なる場合は、それらの平均値）
	$T_1$	mm	評価点におけるスリーブ本体の厚さ
	$T_2$	mm	原子炉格納容器の補強板厚さ
	$T_{3'}$	℃	温度差
	$T_4$	℃	温度差変動の全振幅
	$T_{4'}$	℃	温度差変動の全振幅
	$\Delta T_3$	℃	起動時及び停止時において、相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差
	$\Delta T_5$	℃	供用状態 A 及び供用状態 B において、材料規格 Part3 第 2 章 表 1 及び表 2 に規定する縦弾性係数又は熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変動
	$\Delta T_R$	℃	起動時及び停止時を除く供用状態 A 及び供用状態 B において、相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差の全振幅
	$W_p$	N	評価点に作用する原子炉格納容器自重
$W_S$	N	電線貫通部全体の自重	

	記 号	単 位	定 義
スリーブの強度計算に使用するもの	Y	-	純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比の算出に用いる係数
	Z	mm <sup>3</sup>	評価点におけるスリーブ本体の断面係数
	$\alpha$	mm/mm <sup>°C</sup>	2点間の平均温度における材料規格 Part3 第2章 表2に規定する瞬時熱膨張係数の値
	$\alpha_1$	-	純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比
	$\beta$	mm <sup>-1</sup>	不静定荷重及び変位の算出に用いる係数
	$\gamma_{s1}$	rad	スリーブ本体に作用する最高使用圧力によるスリーブ本体の回転角
	$\gamma_{s2}$	rad	原子炉格納容器胴板変位によるスリーブ本体の回転角
	$\delta_c$	mm	最高使用圧力による原子炉格納容器胴板変位
	$\delta_{s1}$	mm	スリーブ本体に作用する最高使用圧力によるスリーブ本体の変位
	$\delta_{s2}$	mm	原子炉格納容器胴板変位によるスリーブ本体の変位
	$\theta_{s1}$	rad	スリーブ本体に作用する最高使用圧力による不静定荷重によって生じるスリーブ本体の回転角
	$\theta_{s2}$	rad	原子炉格納容器胴板変位による不静定荷重によって生じるスリーブ本体の回転角
	$\nu$	-	ポアソン比
	$\sigma_x$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器軸方向応力
	$\sigma_y$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器円周方向応力
	$\sigma_z$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器板厚方向応力
	$\Delta\sigma$	MPa	機械的荷重により生じる応力の全振幅
	$\omega_{s1}$	mm	スリーブ本体に作用する最高使用圧力による不静定荷重によって生じるスリーブ本体の変位
	$\omega_{s2}$	mm	原子炉格納容器胴板変位による不静定荷重によって生じるスリーブ本体の変位

## 2.2 強度計算方法

ここでは、原子炉格納容器の電線貫通部を構成する本体および端板、スリーブの強度計算並びに評価方法を示す。

本体および端板の材料の応力評価には、JSME2005/2007 付録材料図表 Part5 表3、JSME PVA-3000並びに材料規格 Part3 第1章 表3、表6、表7及びPart3 第2章 表1に応じた値を用いる。ただし、JSME2005/2007 付録材料図表 Part5 表3、材料規格 Part3 第1章 表3、表6、表7及びPart3 第2章 表1記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

また、スリーブの材料の許容値には、JSME PVA-3000並びに材料規格Part3 第1章 表3、表6、表7及びPart3 第2章 表1、表2に応じた値を用いる。ただし、材料規格Part3 第1章 表3、表6、表7及びPart3 第2章 表1、表2記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算はJSMEに基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

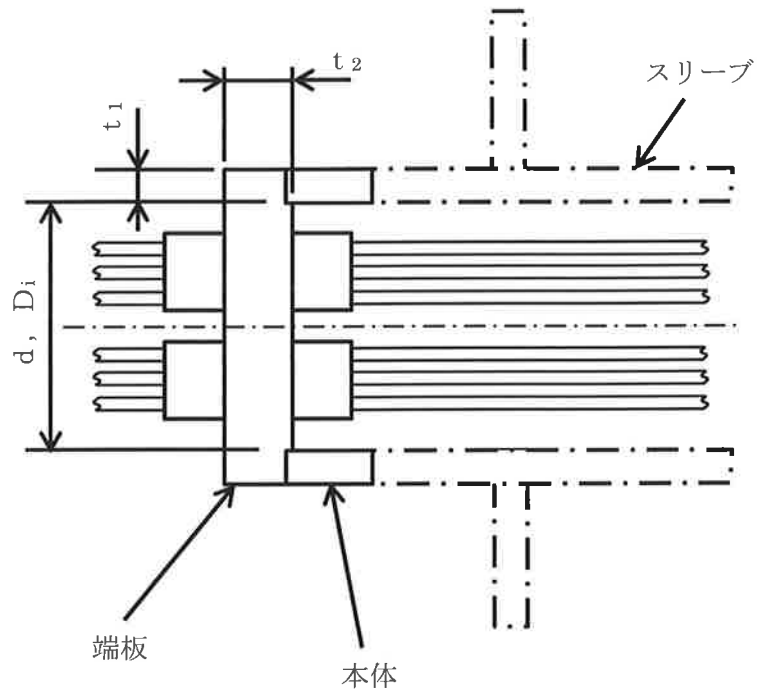
ただし、規格計算には、設計確認値である実際使用最小厚さを使用する。



(1)電線貫通部 本体および端板

電線貫通部のうち本体および端板の板厚計算、端板の応力計算を実施し、強度に対する要求事項に適合することを確認する。

電線貫通部の強度計算に使用する各寸法は、下記に示すとおりである。



第1-1図 電線貫通部 本体および端板の構造

a. 本体及び端板の板厚計算

電線貫通部の本体及び端板は次に示す方法により計算上必要な厚さを求め、計算上必要な厚さが最小使用厚さ以下であることを確認する。

第1-1表 本体、端板の板厚計算方法

評価部位	適用基準	計算式
本体	JSME PVE-3230 (2) a.	$t_{sr1} = \frac{PD_i}{2S_{mc1} \eta - 1.2P}$
端板	JSME PVE-3410	$t_{sr2} = d \sqrt{\frac{KP}{S_{mc2}}}$

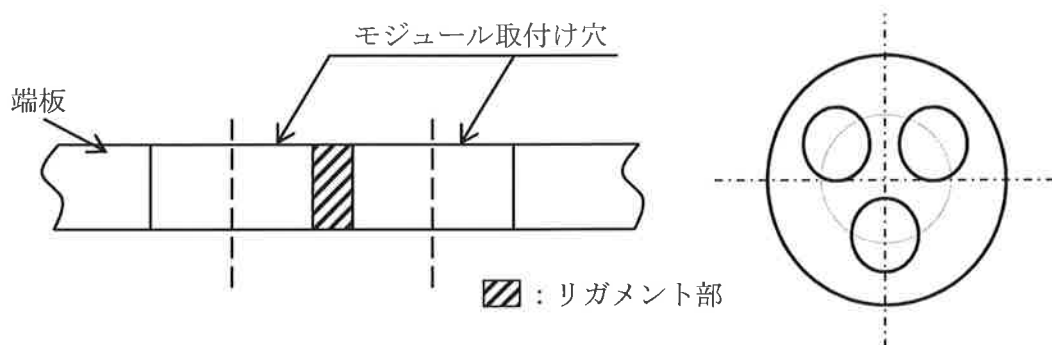
b. 端板の応力計算

電線貫通部の端板に設けた穴は、JSME PVE-3282における2つの穴の中心間距離の規定に準じないため、PVE-3270の詳細解析による場合の穴の設計についての規定に適合することを確認する。

詳細解析は、発生応力が大きくなる保守的な条件として、原子炉格納容器の温度及び圧力を138℃、0.305MPa(重大事故等時の温度、圧力)に冠水時の水頭圧(0.028MPa)を考慮した条件で応力計算を行う。また、JSME PVE-3140の(1)から(6)の規定に従い、疲労評価の要否を検討する。なお、138℃、0.305MPaは、重大事故等時の温度及び圧力であり、この条件では疲労評価を要する繰返し荷重は作用しないことから、疲労評価要否の検討は最高使用温度、最高使用圧力で行う。

(a) 評価部位

端板の応力評価部位は、発生応力が最大となる端板リガメント部とする。

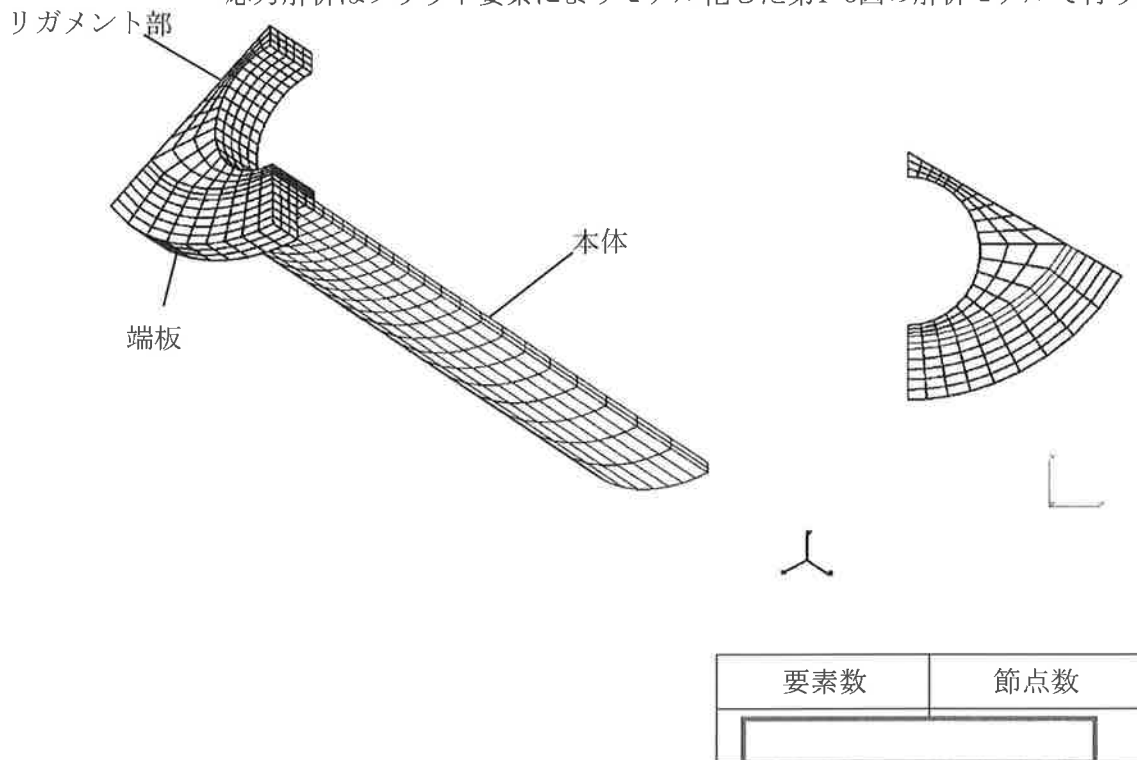


第1-2図 電線貫通部端板評価部位(端板リガメント)

(b) 端板の応力計算方法

端板に発生する応力は有限要素法解析コードNASTRAN Ver. 2008. 0. 4を用いて求める。

応力解析はソリッド要素によりモデル化した第1-3図の解析モデルで行う。



第 1-3 図 端板リガメント部解析モデル

(c) 端板の応力評価方法

(b)項で求めた端板リガメント部の発生応力について、JSME PVE-3111及び3112に適合することを確認する。

4. 荷重の組合せ及び応力強さの限界

端板リガメント部の各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界は第1-2表に示すとおりである。

また、材料の最高使用温度等における各応力強さの限界を第 1-3 表に示す。

第1-2表 各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界

状 態	荷重の組合せ	応力強さの限界			
		一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力+ 一次曲げ 応力強さ	一次+二次 応力強さ
(注1) 設計 条件	①電線貫通部自重 ②最高使用圧力	$S_{mc}$	$1.5S_{mc}$	<sup>(注4)</sup> $1.5S_{mc}$	—
(注2) 供用 状態A	①電線貫通部自重 ②原子炉格納容器圧力	—	—	—	$3S_{mc}$
(注2) 供用 状態B					
(注1) 供用 状態C	①電線貫通部自重 ②原子炉格納容器圧力	$1.2S_{mc}$	$1.5 \times 1.2S_{mc}$	<sup>(注4)</sup> $1.5 \times 1.2S_{mc}$	—
(注1) 供用 状態D	①電線貫通部自重 ②最高使用圧力	$2.4S_{mc}$ と $2/3S_u$ の 小さい方	$1.5 \times 2.4S_{mc}$ と $1.5 \times 2/3S_u$ の小さい方	<sup>(注4)</sup> $1.5 \times 2.4S_{mc}$ と $1.5 \times 2/3S_u$ の 小さい方	—
(注3) 試験 状態	①電線貫通部自重 ②試験圧力 =最高使用圧力 ×1.1 (気圧)	$0.75S_y$	$1.5 \times 0.75S_y$	<sup>(注4)</sup> $1.5 \times 0.75S_y$	—

(注1) JSME PVB-3111 に記載の応力強さの限界

(注2) JSME PVB-3112 に記載の応力強さの限界

(注3) JSME PVE-3112 に記載の応力強さの限界

(注4) 一次一般膜応力強さの限界を定める値に純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値を乗じた値とする。なお、本資料で評価する端板リガメント部の断面は中実矩形断面であるため1.5とする。

第 1-3 表 材料の最高使用温度等における各応力強さの限界

応力強さ	材 料	最高使用 温度 (℃)	応力強さの限界 (MPa)				
一次一般膜応力強さ	SUS304L	122	$S_{mc}$	$1.2 S_{mc}$	$2.4 S_{mc}$	$2/3 S_u$	(注1) $0.75 S_y$
			115	138	276	266	131
一次局部膜応力強さ	SUS304L	122	$1.5 S_{mc}$	$1.5 \times 1.2 S_{mc}$	$1.5 \times 2.4 S_{mc}$	$1.5 \times 2/3 S_u$	(注1) $1.5 \times 0.75 S_y$
			172	207	414	400	196
一次二次応力強さ	SUS304L	122	$3 S_{mc}$	—	—	—	—
			345	—	—	—	—

(注1)  $S_y$ は、常温における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の値

ロ. 評価方法

応力評価は、設計条件、供用状態A, B, C, D及び試験状態を包絡する条件である、原子炉格納容器の温度及び圧力を138℃、0.305MPa(重大事故等時)に冠水時の水頭圧(0.028MPa)を考慮した条件において発生する応力が第1-3表における最も小さい応力強さの限界を超えないことを確認する。

・ 応力強さの限界

第1-2表により端板リガメント部の各状態における応力強さの限界は、第1-3表に示すように、一次一般膜応力強さについては $S_{mc}$ が、一次局部膜応力強さ及び一次一般膜応力+一次曲げ応力強さについては $1.5S_{mc}$ が最も小さいことが分かる。よって、応力強さの限界には、一次一般膜応力強さについては $S_{mc}$ を、一次局部膜応力強さ及び一次膜応力+一次曲げ応力強さについては $1.5S_{mc}$ を用いる。なお、一次+二次応力強さについては $3S_{mc}$ を用いる。

第1-4表 基本条件における応力強さの限界

応力強さ 状態	一次一般膜 応力強さ $P_m$	一次局部膜 応力強さ $P_L$	一次膜応力+ 一次曲げ 応力強さ $P_L+P_b$	一次+二次 応力強さ $P_L+P_b+Q$
基本条件	$S_{mc}$	$1.5S_{mc}$	$1.5S_{mc}$	$3S_{mc}$

・ 荷重の組合せ

荷重の組合せは、設計条件、供用状態A, B, C, D及び試験状態における荷重を包絡し、次のとおりとする。

第1-5表 荷重の組合せ

状 態	荷 重 の 組 合 せ
基本条件	①電線貫通部自重 ②重大事故等時の圧力 ③水頭圧

(d) 端板の疲労評価方法

JSME PVB-3140の規定に従い、疲労解析が不要であることを確認する。

① JSME PVB-3140(1)の規定

大気圧から運転圧力となり、再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 $N_1$ が、JSME 添付 4-2 3.1 または 3.2 において  $3S_{mc2}$  を繰返しピーク応力強さとした場合に、これに対応する許容繰返し回数 $N_a$ を超えないことを確認する。

$$N_1 \leq N_a$$

② JSME PVB-3140(2)の規定

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅  $\Delta P$  が下式に示す圧力変動の全振幅  $A_{m1}$  を超えないことを確認する。上記を満足しない場合は、圧力変動の全振幅  $\Delta P$  が下式に示す圧力変動の全振幅  $A_{m2}$  を超えないことを確認する。

1)  $\Delta P \leq A_{m1}$

$$A_{m1} = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S_3}{S_{mc2}}$$

2) 1) を満足しない場合、 $\Delta P \leq A_{m2}$

$$A_{m2} = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S_a}{S_{mc2}}$$

③ JSME PVB-3140(3)の規定

起動時及び停止時において、相互の距離が下式に示す  $p$  の値を超えない任意の 2 点間の温度差  $\Delta T_1$  が、下式に示す  $T_1$  の値を超えないことを確認する。

$$\Delta T_1 \leq T_1$$

$$P = 2\sqrt{R \cdot t_3}$$

$$T_1 = \frac{S_{1a}}{2E_1 \cdot \alpha_1}$$

④ JSME PVB-3140(4)の規定

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、相互の距離が③に示す $p$ の値を超えない任意の2点間の温度差の全振幅 $\Delta T_R$ が、下式に示す $T_2$ の値を超えないことを確認する。ここで、 $S_{2a}$ の値は、JSME 添付4-2 3.1または3.2において、下式に示す $T_3$ を超える温度差の変動回数 $N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値とする。

$$\Delta T_R \leq T_2$$

$$T_2 = \frac{S_{2a}}{2E_1 \cdot \alpha_1}$$

$$T_3 = \frac{S_3}{2E_1 \cdot \alpha_1}$$

⑤ JSME PVB-3140(5)の規定

供用状態A及び供用状態Bにおいて、材料規格 Part 3 第2章 表1及び表2に規定する縦弾性係数又は熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変動 $\Delta T_2$ が温度の変動 $T_4$ を超えないことを確認する。

上記を満足しない場合は、温度の変動 $\Delta T_2$ が下式に示す温度の変動 $T_5$ を超えないことを確認する。

$$1) \Delta T_2 \leq T_4$$

$$T_4 = \frac{S_3}{2(E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2)}$$

$$2) 1)を満足しない場合、\Delta T_2 \leq T_5$$

$$T_5 = \frac{S_{3a}}{2(E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2)}$$

⑥ JSME PVB-3140(6)の規定

機械的荷重により生じる応力の全振幅 $\Delta \sigma$ がJSME 添付4-2 3.1または3.2において、荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値を超えないことを確認する。この場合において、荷重変動回数は、添付4-2 3.1においては $10^6$ 、添付4-2 3.2においては $10^{11}$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値を超える応力を生じる荷重変動回数をとるものとし、その値が添付4-2 3.1において $10^6$ を超える場合は $10^6$ とし、添付4-2 3.2において $10^{11}$ を超える場合は $10^{11}$ とすることができる。

電線貫通部においては、機械的荷重が作用しないよう設計しているため、本規定の検討の必要はない。



(2) 電線貫通部 スリーブ

a. 規格計算

今回改造するスリーブに関して、スリーブ本体の必要な厚さの計算方法について示す。

(a) スリーブ本体（管台）の厚さの計算（JSME PVE-3610）

スリーブ本体（管台）の厚さは、第 2-1 表に掲げる値のいずれか大きい方の値以上であることを確認する。

第 2-1 表 スリーブ本体（管台）の厚さの規定

項目	適用規格番号 <sup>(注2)</sup>	計算式等
管台 (内面圧)	JSME PVE-3611	$t_{nr1} = \frac{P \cdot D_1}{2S_{mc} \cdot \eta + 0.8P}$ <sup>(注1)</sup>
	JSME PVE-3613	炭素鋼鋼管を使用する場合の厚さの規定は、第 2-2 表による。

(注 1) 継手効率  $\eta$  については、JSME PVE-3230 (2) a. に基づき同 PVE-3240 より 1.00 とする。

(注 2) JSME PVE-3612 の規定は、スリーブ本体（管台）に外圧が作用する場合の規定であり、今回改造するスリーブ本体に該当しないため評価実施しない。

第 2-2 表 炭素鋼鋼管を使用する場合の厚さの規定

スリーブ本体（管台）の外径 $D_1$ (mm)	必要な厚さ $t_{nr2}$ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

b. 応力計算

電線貫通部のスリーブ（スリーブ本体及びスリーブ取付部）は、自重、最高使用圧力及び設計外力（電線貫通部本体等からの荷重）による応力計算及び疲労評価を行う。

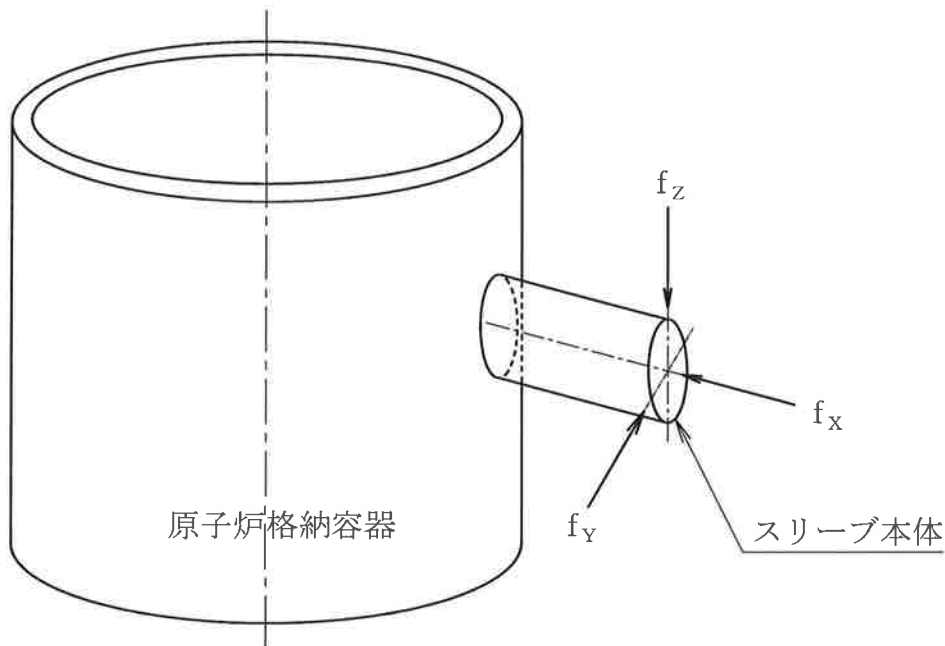
電線ケーブルは柔軟な構造であり、スリーブは電線貫通部本体等からの有意な反力を受けないため、設計外力としては電線貫通部全体の自重( $W_s = f_z$ )のみ作用するものとする。ただし、スリーブ軸直角方向に作用する  $f_z$  は、 $f_y$  方向に作用すると仮定した方がスリーブ取付部における応力が保守的に算出されるため、 $f_z$  のスリーブ軸直角方向の荷重は、 $f_y$  方向に作用するものとする。

ここで、スリーブに作用する設計外力は発生する応力の特性を考慮して、それぞれ次に示すように取り扱う。

スリーブ本体、スリーブ取付部共通：

$F_x$  : スリーブ軸方向に作用する有意な反力はないので  $F_x = 0$  とする。

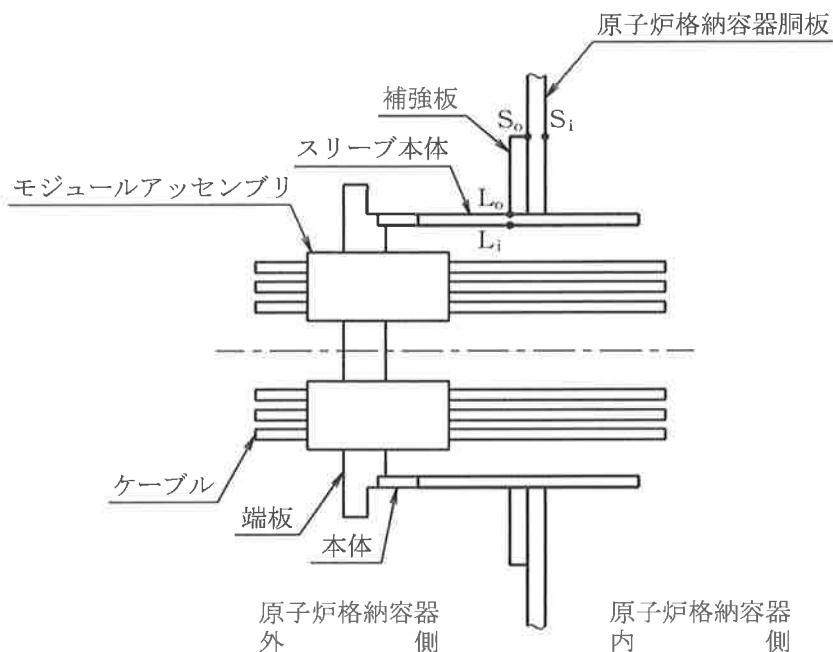
$F_y$  : 原子炉格納容器の電線貫通部本体等からの反力  $f_y$  を  $F_y$  とする。 $F_y$  によるせん断応力は微小であり無視するが、 $F_y$  によって生じる曲げモーメントを  $M_z'$  とし、 $M_z'$  による応力を計算する。



スリーブ評価モデル

(a) 評価部位

スリーブの評価部位は、構造不連続部であるスリーブ本体と原子炉格納容器胴板の接続部（L点（ $L_i$ 、 $L_o$ ）以降、スリーブ本体）及び補強板端部（S点（ $S_i$ 、 $S_o$ ）以降、スリーブ取付部）とする。



(水平断面)

第 2-1 図 スリーブ評価部位

(b) スリーブの応力計算方法

イ. スリーブ本体の応力計算方法

(イ) 最高使用圧力による応力

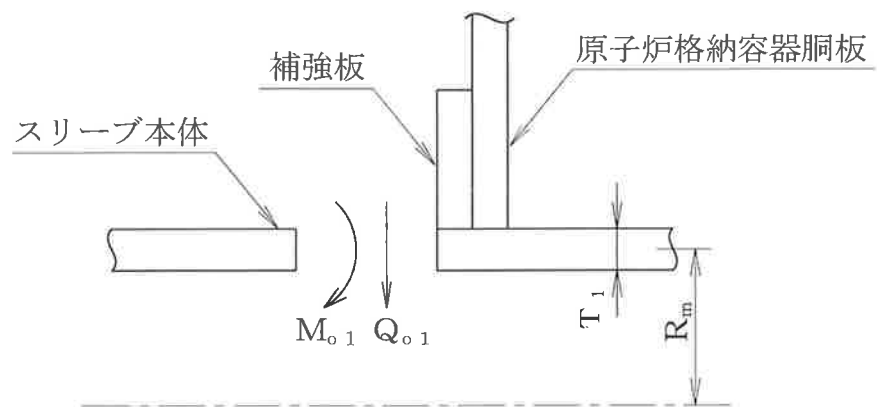
i. スリーブ本体に作用する最高使用圧力による応力

(i) 計算要領

原子炉格納容器胴板との接合部を固定として、不静定荷重（曲げモーメント $M_{o,1}$ 及びせん断力 $Q_{o,1}$ ）を求め、応力の計算を行う。

ここで、不静定荷重 $M_{o,1}$ 及び $Q_{o,1}$ は次の図に示す方向を正とする。

また、変位はスリーブ本体外向きを正、回転角は右回りを正とする。



(ii) 不静定荷重 $M_{o1}$ 及び $Q_{o1}$

評価点における変位及び回転角に関する連続の条件 (THEORY OF PLATES AND SHELLS; S. TIMOSHENKO 著) を適用して最高使用圧力による不静定荷重を求める。

$$\begin{cases} \omega_{s1} + \delta_{s1} = 0 \\ \theta_{s1} + \gamma_{s1} = 0 \end{cases} \dots\dots \text{連続の条件}$$

ここで、

$$\omega_{s1} = -\frac{1}{2\beta^3 \cdot D_m} (\beta \cdot M_{o1} + Q_{o1})$$

$$\theta_{s1} = \frac{1}{2\beta^2 \cdot D_m} (2\beta \cdot M_{o1} + Q_{o1})$$

$$\delta_{s1} = \frac{P \cdot R_m^2}{E \cdot T_1} \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)$$

$$\gamma_{s1} = 0$$

$$D_m = \frac{E \cdot T_1^3}{12(1 - \nu^2)}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1 - \nu^2)}{R_m^2 \cdot T_1^2}}$$

連続の条件より不静定荷重は次の式により求める。

$$M_{o1} = -2\delta_{s1} \cdot \beta^2 \cdot D_m$$

$$Q_{o1} = 4\delta_{s1} \cdot \beta^3 \cdot D_m$$

(iii) 計算式

応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \frac{P \cdot R_m}{2T_1} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = \frac{P \cdot R_m}{T_1} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_z = -P \quad (\text{スリーブ本体内面}) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$0 \quad (\text{スリーブ本体外面}) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = \frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m} \quad (\text{一次局部膜応力})$$

$$\sigma_x = \mp \frac{6M_{o1}}{T_1} \quad (\text{二次応力})$$

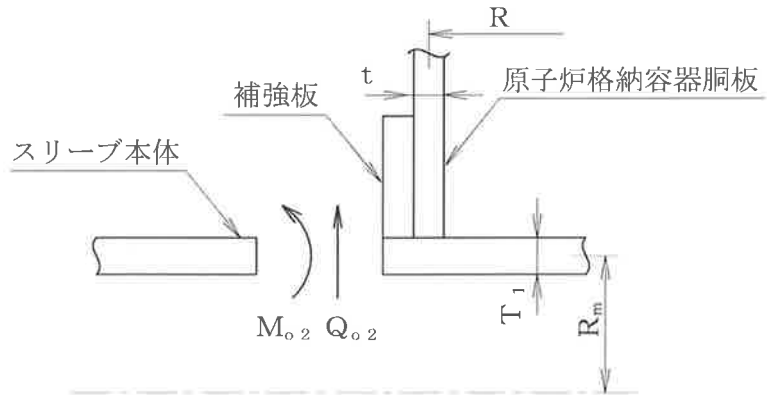
$$\sigma_y = \mp \frac{6\nu \cdot M_{o1}}{T_1} \quad (\text{二次応力})$$

ii. 原子炉格納容器胴板変位による応力

(i) 計算要領

原子炉格納容器胴板の変位に伴い、スリーブ本体に強制変位が作用するため、これによる不静定荷重（曲げモーメント $M_{o2}$ 及びせん断力 $Q_{o2}$ ）を求め、応力の計算を行う。

ここで、不静定荷重 $M_{o2}$ 及び $Q_{o2}$ は次の図に示す方向を正とする。また、変位はスリーブ本体外向きを正、回転角は右回りを正とする。



(ii) 不静定荷重 $M_{o2}$ 及び $Q_{o2}$

評価点における変位及び回転角に関する連続の条件 (THEORY OF PLATES AND SHELLS; S. TIMOSHENKO著) を適用してスリーブ本体の強制変位による不静定荷重を求める。

$$\begin{cases} \omega_{s2} - \delta_{s2} = 0 \\ \theta_{s2} - \gamma_{s2} = 0 \end{cases} \dots\dots \text{連続の条件}$$

ここで、

$$\omega_{s2} = \frac{1}{2\beta^3 \cdot D_m} (\beta \cdot M_{o2} + Q_{o2})$$

$$\theta_{s2} = -\frac{1}{2\beta^2 \cdot D_m} (2\beta \cdot M_{o2} + Q_{o2})$$

$$\delta_{s2} = \frac{\delta_c}{R} R_m$$

$$\gamma_{s2} = 0$$

$$D_m = \frac{E \cdot T_1^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{R_m^2 \cdot T_1^2}}$$

$$\delta_c = \frac{P \cdot R^2}{E \cdot t} \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)$$

連続の条件より不静定荷重は次の式により求める。

$$M_{o2} = -2\delta_{s2} \cdot \beta^2 \cdot D_m$$

$$Q_{o2} = 4\delta_{s2} \cdot \beta^3 \cdot D_m$$



(iii) 計算式

応力は次の式により求める。

$$\sigma_y = \frac{E \cdot \omega_s^2}{R_m} \quad (\text{二次応力})$$

$$\sigma_x = \pm \frac{6M_o^2}{T_1} \quad (\text{二次応力})$$

$$\sigma_y = \pm \frac{6\nu \cdot M_o^2}{T_1} \quad (\text{二次応力})$$

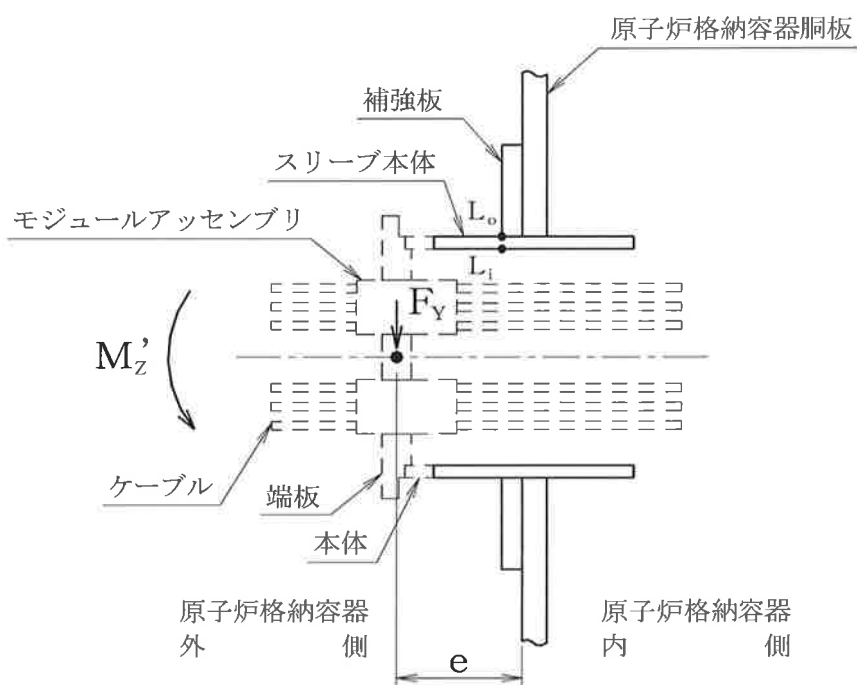
(ロ) 設計外力による応力

i. 設計外力

荷重作用点は第 2-2 図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。このためスリーブ本体には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

スリーブ本体に作用する曲げモーメント $M_Z'$  は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$



(水平断面)

第 2-2 図 設計外力の荷重作用点

ii. 計算式

設計外力の軸力及び曲げモーメントによる応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{M_z'}{Z} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$Z = \frac{\pi \left\{ D_1^4 - (D_1 - 2T_1)^4 \right\}}{32D_1}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

ロ. スリーブ取付部の応力計算方法

(イ) 原子炉格納容器自重による応力

原子炉格納容器及び附属物の自重による応力は次の式により求める。

なお、自重は、原子炉格納容器固定端（弾性充てん材下端）の値とする。

$$\sigma_x = - \frac{W_p}{\pi \cdot D \cdot t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

(ロ) 最高使用圧力による応力

原子炉格納容器の最高使用圧力による応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \frac{P \cdot R}{2 t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = \frac{P \cdot R}{t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_z = - P \quad (\text{原子炉格納容器内側}) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$0 \quad (\text{原子炉格納容器外側}) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

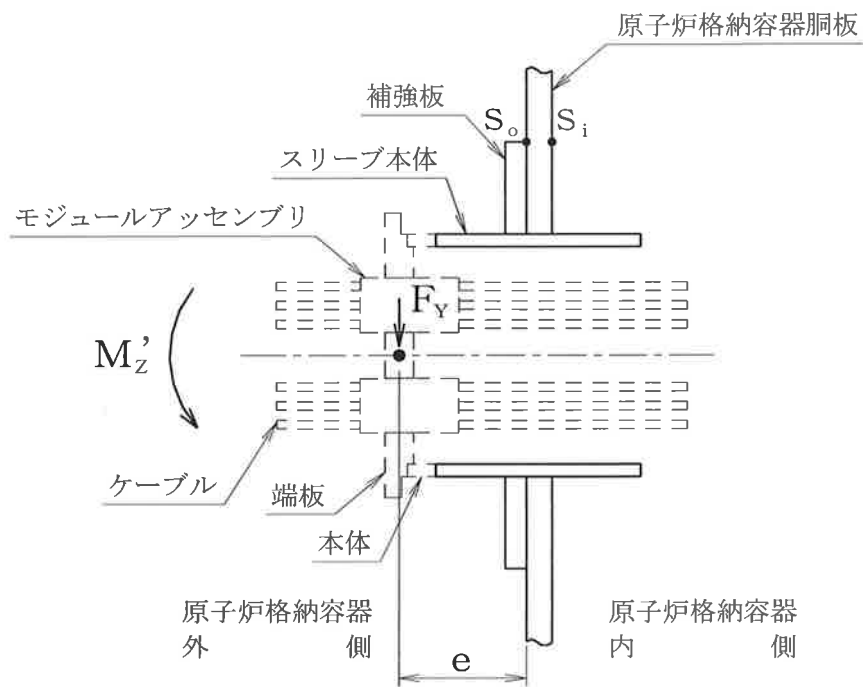
(ハ) 設計外力による応力

i. 設計外力

荷重作用点は第 2-3 図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。このためスリーブ取付部には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

スリーブ取付部に作用する曲げモーメント $M_Z'$ は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$



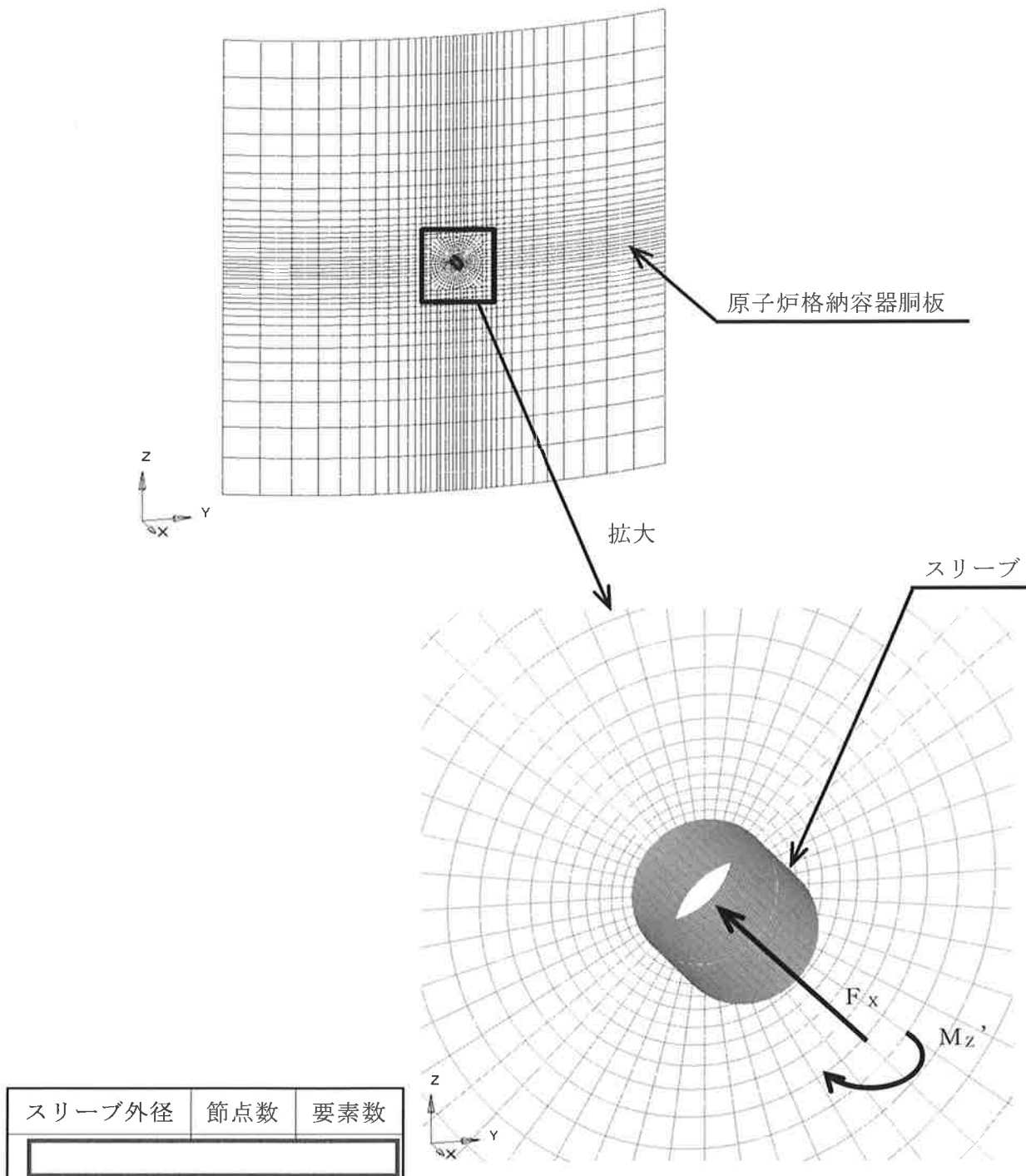
(水平断面)

第 2-3 図 設計外力の荷重作用点

ii. 応力

設計外力により発生する局部膜及び曲げ応力は、有限要素法解析コード NASTRAN Ver. 2005r3b を用いて求める。

応力解析は、板要素によりモデル化した以下の解析モデルで行う。



第 2-4 図 スリーブ取付部解析モデル

(c) スリーブの応力評価方法

(b)項で求めたスリーブの発生応力について、JSME PVE-3111 及び 3112 に適合することを確認する。

イ. スリーブ本体の応力評価方法

(イ) 荷重の組合せ及び応力強さの限界

スリーブ本体の各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界は、第 2-3 表に示すとおりである。

また、材料の最高使用温度等における各応力強さの限界を第 2-4 表に示す。

第 2-3 表 各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界

状 態	荷重の組合せ	応力強さの限界			
		一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力＋ 一次曲げ 応力強さ	一次＋二次 応力強さ
(注 1) 設計 条件	①最高使用圧力 ②設計外力	$S_{mc}$	$1.5 S_{mc}$	$\alpha_1 \times S_{mc}$ (注 4)	—
(注 2) 供用 状態 A	①最高使用圧力 ②設計外力	—	—	—	$3 S_{mc}$
(注 2) 供用 状態 B					
(注 1) 供用 状態 C	①設計外力	$S_y$ と $2/3 S_u$ の 小さい方。 圧力荷重に対し ては $1.1 S_{mc}$ と $0.9 S_y$ の大きい 方。	$1.5 S_y$ と $1.5 \times 2/3 S_u$ の小さい方。	$\alpha_1 \times S_y$ と $\alpha_1 \times 2/3 S_u$ の小さい方。 (注 4)	—
(注 1) 供用 状態 D	①最高使用圧力 ②設計外力	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$	$\alpha_1 \times 2/3 S_u$ (注 4)	—
(注 3) 試験 状態	①試験圧力 ＝最高使用圧力 × 1.1 (気圧) ②設計外力	$0.75 S_y$	$1.5 \times 0.75 S_y$	$\alpha_1 \times 0.75 S_y$ (注 4)	—

(注 1) JSME PVB-3111 に記載の応力強さの限界

(注 2) JSME PVB-3112 に記載の応力強さの限界

(注 3) JSME PVE-3112 に記載の応力強さの限界

(注 4) 一次一般膜応力強さの限界を定める値（供用状態 C の圧力荷重に対する値を除く。）に純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値を乗じた値とする。

なお、本資料で評価するスリーブ本体についての  $\alpha_1$  は以下のとおり。

$$\alpha_1 = \frac{32(1 - Y^3)}{6\pi(1 - Y^4)} = 1.3$$

ただし、 $Y = (D_1 - 2T_1) / D_1$



第2-4表 材料の最高使用温度等における各応力強さの限界

応力強さ	材 料	最高使用 温度 (°C)	応力強さの限界 (MPa)					
			$S_{mc}$	$S_y$	$2/3 S_u$	$1.1 S_{mc}$	$0.9 S_y$	(注2) $0.75 S_y$
一次一般膜 応力強さ	ASTM A333 Gr. 6 (注1) (GSTPL 相当)	122	$S_{mc}$	$S_y$	$2/3 S_u$	$1.1 S_{mc}$	$0.9 S_y$	(注2) $0.75 S_y$
			129	217	251	141	195	180
一次局部膜 応力強さ	ASTM A333 Gr. 6 (注1) (GSTPL 相当)	122	$1.5 S_{mc}$	$1.5 S_y$	$1.5 \times 2/3 S_u$	(注2) $1.5 \times 0.75 S_y$	—	—
			193	325	376	270	—	—
一次曲げ 応力強さ + 一次膜 応力強さ	ASTM A333 Gr. 6 (注1) (GSTPL 相当)	122	$1.3 S_{mc}$	$1.3 S_y$	$1.3 \times 2/3 S_u$	(注2) $1.3 \times 0.75 S_y$	—	—
			167	282	326	234	—	—
応力強さ 一次 + 二次	ASTM A333 Gr. 6 (注1) (GSTPL 相当)	122	$3 S_{mc}$	—	—	—	—	—
			387	—	—	—	—	—

(注1) 相当材は火力原子力発電技術協会 質疑応答集（平成5年改訂版）による。

(注2)  $S_y$ は、常温における材料規格 Part3 第1章 表6の値

(ロ) 評価方法

応力評価は、設計を合理的に行うため、第 2-3 表に基づき、設計条件、供用状態 A, B, C, D 及び試験状態のうち、最も大きい発生応力が、最も小さい応力強さの限界を超えないことを確認する。

i. 応力強さの限界

第 2-3 表によりスリーブ本体の各状態における応力強さの限界は、第 2-4 表に示すように、一次一般膜応力強さについては  $S_{mc}$  が、一次局部膜応力強さについては  $1.5 S_{mc}$  が、一次膜応力+一次曲げ応力強さについては  $1.3 S_{mc}$  が最も小さいことが分かる。よって応力強さの限界には、一次一般膜応力強さについては  $S_{mc}$  を、一次局部膜応力強さについては  $1.5 S_{mc}$  を、一次膜応力+一次曲げ応力強さについては  $1.3 S_{mc}$  を、一次+二次応力強さについては  $3 S_{mc}$  を用いる。

状態 \ 応力強さ	一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力+ 一次曲げ 応力強さ	一次+二次 応力強さ
基本条件	$S_{mc}$	$1.5 S_{mc}$	$1.3 S_{mc}$	$3 S_{mc}$

ii. 荷重の組合せ

荷重の組合せは、設計条件及び供用状態A, B, C, Dにおける荷重を包絡し、次のとおりとする。

状 態	荷 重 の 組 合 せ
基本条件	①最高使用圧力 ②設計外力

なお、試験状態における試験圧力は最高使用圧力の 1.1 倍であるが、試験状態における応力強さの限界  $0.75 S_y$  は基本条件における応力強さの限界  $S_{mc}$  の約 1.4 倍であり、試験状態の評価は基本条件の評価に包絡されるため行わない。

ロ. スリーブ取付部の応力評価方法

(イ) 荷重の組合せ及び応力強さの限界

スリーブ取付部の各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界は、第 2-5 表に示すとおりである。

また、材料の最高使用温度等における各応力強さの限界を第 2-6 表に示す。

第 2-5 表 各状態における荷重の組合せ及び応力強さの限界

状 態	荷重の組合せ	応力強さの限界			
		一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力＋ 一次曲げ 応力強さ	一次＋二次 応力強さ
(注 1) 設計 条件	①原子炉格納容器自重 ②最高使用圧力 ③設計外力	$S_{mc}$	$1.5 S_{mc}$	(注 4) $1.5 S_{mc}$	—
(注 2) 供用 状態 A	①原子炉格納容器自重 ②最高使用圧力 ③設計外力	—	—	—	$3 S_{mc}$
(注 2) 供用 状態 B					
(注 1) 供用 状態 C	①原子炉格納容器自重 ②設計外力	$S_y$ と $2/3 S_u$ の 小さい方。 圧力荷重に対し ては $1.1 S_{mc}$ と $0.9 S_y$ の大きい 方。	$1.5 S_y$ と $1.5 \times 2/3 S_u$ の小さい方。	(注 4) $1.5 \times S_y$ と $1.5 \times 2/3 S_u$ の小さい方。	—
(注 1) 供用 状態 D	①原子炉格納容器自重 ②最高使用圧力 ③設計外力	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$	(注 4) $1.5 \times 2/3 S_u$	—
(注 3) 試験 状態	①原子炉格納容器自重 ②試験圧力 ＝最高使用圧力 × 1.1 (気圧) ③設計外力	$0.75 S_y$	$1.5 \times 0.75 S_y$	(注 4) $1.5 \times 0.75 S_y$	—

(注 1) JSME PVB-3111 に記載の応力強さの限界

(注 2) JSME PVB-3112 に記載の応力強さの限界

(注 3) JSME PVE-3112 に記載の応力強さの限界

(注 4) 一次一般膜応力強さの限界を定める値（供用状態 C の圧力荷重に対する値を除く。）に純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値を乗じた値とする。なお、本資料で評価するスリーブ取付部の断面は中実矩形断面であるため 1.5 とする。

第2-6表 材料の最高使用温度等における各応力強さの限界

応力強さ	材 料	最高使用 温度 (°C)	応力強さの限界 (MPa)					
			$S_{mc}$	$S_y$	$2/3 S_u$	$1.1 S_{mc}$	$0.9 S_y$	(注) $0.75 S_y$
一次 一般膜 応力強さ	SGV49 (SGV480)	122	$S_{mc}$	$S_y$	$2/3 S_u$	$1.1 S_{mc}$	$0.9 S_y$	(注) $0.75 S_y$
			150	235	284	165	211	198
一次 局部膜 応力強さ	SGV49 (SGV480)	122	$1.5 S_{mc}$	$1.5 S_y$	$1.5 \times 2/3 S_u$	(注) $1.5 \times 0.75 S_y$	—	—
			225	352	426	297	—	—
一次 十二次 応力強さ	SGV49 (SGV480)	122	$3 S_{mc}$	—	—	—	—	—
			450	—	—	—	—	—

(注)  $S_y$ は、常温における材料規格 Part3 第1章 表6 の値

(ロ) 評価方法

応力評価は、設計を合理的に行うため、第 2-5 表に基づき、設計条件、供用状態 A, B, C, D 及び試験状態のうち、最も大きい発生応力が、最も小さい応力強さの限界を超えないことを確認する。

i. 応力強さの限界

第 2-5 表によりスリーブ取付部の各状態における応力強さの限界は、第 2-6 表に示すように、一次一般膜応力強さについては  $S_{mc}$  が、一次局部膜応力強さ及び一次膜応力+一次曲げ応力強さについては  $1.5 S_{mc}$  が最も小さいことが分かる。よって応力強さの限界には、一次一般膜応力強さについては  $S_{mc}$  を、一次局部膜応力強さ及び一次膜応力+一次曲げ応力強さについては  $1.5 S_{mc}$  を、一次+二次応力強さについては  $3 S_{mc}$  を用いる。

状態 \ 応力強さ	一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力+ 一次曲げ 応力強さ	一次+二次 応力強さ
基本条件	$S_{mc}$	$1.5 S_{mc}$	$1.5 S_{mc}$	$3 S_{mc}$

ii. 荷重の組合せ

荷重の組合せは、設計条件及び供用状態A, B, C, Dにおける荷重を包絡し、次のとおりとする。

状 態	荷 重 の 組 合 せ
基本条件	①原子炉格納容器自重 ②最高使用圧力 ③設計外力

なお、試験状態における試験圧力は最高使用圧力の 1.1 倍であるが、試験状態における応力強さの限界  $0.75S_y$  は基本条件における応力強さの限界  $S_{mc}$  の約 1.3 倍であり、試験状態の評価は基本条件の評価に包絡されるため行わない。



(d) スリーブの疲労評価方法

JSME PVB-3140 の規定に従い、疲労解析が不要であることを確認する。  
なお、スリーブ本体とスリーブ取付部で評価方法は同様である。

イ. JSME PVB-3140(1)の規定

大気圧から運転圧力となり、再び大気圧に戻る実際の繰返し回数  $N_1$  が、  
JSME 添付 4-2 3.1 において  $3S_{mc}$  を繰返しピーク応力強さとした場合に、  
これに対応する許容繰返し回数  $N_a$  を超えないことを確認する。

$$N_1 \leq N_a$$

ロ. JSME PVB-3140(2)の規定

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅  $\Delta P$  が下式に示す圧力変動の全振幅  $A_{m1}$  を超えないことを確認する。上記を満足しない場合は、圧力変動の全振幅  $\Delta P$  が下式に示す圧力変動の全振幅  $A_{m2}$  を超えないことを確認する。

$$1) \Delta P \leq A_{m1}$$

$$A_{m1} = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S_2}{S_{mc}}$$

$$2) 1) \text{を満足しない場合、} \Delta P \leq A_{m2}$$

$$A_{m2} = \frac{1}{3} \times P \times \frac{S_{2a}}{S_{mc}}$$

ハ. JSME PVB-3140(3)の規定

起動時及び停止時において、相互の距離が下式に示す  $p$  の値を超えない任意の 2 点間の温度差  $\Delta T_3$  が、下式に示す  $T_{3'}$  の値を超えないことを確認する。

$$\Delta T_3 \leq T_{3'}$$

$$p = 2 \sqrt{R_3 \cdot t_3}$$

$$T_{3'} = \frac{S_{3a}}{2E_3 \cdot \alpha}$$

ニ. JSME PVB-3140(4)の規定

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、相互の距離がハ.に示す $p$ の値を超えない任意の2点間の温度差の全振幅 $\Delta T_R$ が、下式に示す $T_4$ の値を超えないことを確認する。ここで、 $S_{4a}$ の値は、JSME 添付4-2 3.1において、下式に示す $T_{4'}$ を超える温度差の変動回数 $N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値とする。

$$\Delta T_R \leq T_4$$

$$T_4 = \frac{S_{4a}}{2E_4 \cdot \alpha}$$

$$T_{4'} = \frac{S_2}{2E_4 \cdot \alpha}$$

ホ. JSME PVB-3140(5)の規定

供用状態A及び供用状態Bにおいて、材料規格 Part 3 第2章 表1及び表2に規定する縦弾性係数又は熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変動 $\Delta T_5$ が計算式により計算した値を超えないことを確認する。

原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討の必要はない。

ヘ. JSME PVB-3140(6)の規定

機械的荷重により生じる応力の全振幅 $\Delta \sigma$ が JSME 添付4-2 3.1において、荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値 $S_6$ を超えないことを確認する。この場合において、荷重変動回数は、添付4-2 3.1において $10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、これに対応する繰返しピーク応力強さの値を超える応力を生じる荷重変動回数をとるものとし、その値が添付4-2 3.1において $10^6$ を超える場合は $10^6$ とすることができる。

$$\Delta \sigma \leq S_6$$

### 3. 強度計算書のフォーマット

#### 3.1 強度計算書のフォーマットの概要

強度評価書のフォーマットは、耐圧部分を構成する部材について下記3.3項のフォーマットを必要に応じて組み合わせるものとし、フォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

#### 3.2 記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち、計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄に  として記載する。

#### 3.3 強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-1 電線貫通部 本体および端板の強度計算結果

FORMAT-2 電線貫通部 スリーブの強度計算結果

電線貫通部の強度計算結果(1/4)

(1) 本体の板厚計算

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	本体内径 (mm)	許容引張応力 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
P		$D_i$	$S_{mc1}$		$\eta$	$t_{sr1}$	$t_1$
評価：							

(2) 端板の板厚計算

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	端板外径 (mm)	許容引張応力 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
P		d	$S_{mc2}$		K	$t_{sr2}$	$t_2$
評価：							

(3) 基本条件における応力強さ

評価点	応 力 (MPa)			
	一次一般膜応力	一次局部膜応力	一次膜+一次曲げ応力	一次+二次応力
	$P_m$	$P_L$	$P_L+P_b$	$P_L+P_b+Q$
リガメント部				
許容値				
評価：				

(4) 疲労解析除外規定確認

① JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の3倍の値 (MPa)	$3S_2$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
$N_1$	$3S_{mc2}$	$N_a$

## 電線貫通部の強度計算結果(2/4)

## ② JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び 供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
$\Delta P$	$A_{m1}$	P	$S_2$
10 <sup>11</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	$N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$S_3$	$A_{m2}$	$N_2$	$S_a$

## ③ JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差 (°C)	任意の 2 点間の距離 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の平均半径 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の厚さ (mm)	温度差 (°C)
$\Delta T_1$	p	R	$t_3$	$T_1$
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	起動停止の回数 (回)	$N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
$E_1$	$\alpha_1$	$N_3$	$S_{1a}$	

## 電線貫通部の強度計算結果(3/4)

## ④ JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態 A 及び供用状態 B において、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差の全振幅 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	T <sub>3</sub> を超える温度差の変動回数 (回)	N <sub>4</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	T <sub>2</sub>	N <sub>4</sub>	S <sub>2a</sub>
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	10 <sup>11</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 (°C)
E <sub>1</sub>	$\alpha_1$	S <sub>3</sub>	T <sub>3</sub>

## ⑤ JSME PVB-3140 (5) の計算結果

供用状態 A 及び供用状態 B において、 材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 及び表 2 に規定する縦弾性係数ま たは熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変動 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	T <sub>4</sub> を超える温度差の変動回数 (回)	N <sub>5</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_2$	T <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	S <sub>3a</sub>
p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 に規定する縦弾性係数の値 (MPa)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 1 に規定する縦弾性係数の値 (MPa)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 2 に規定する瞬時熱膨張係数 の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part 3 第 2 章 表 2 に規定する瞬時熱膨張係数の 値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$
温度差変動の全振幅 (°C)			
T <sub>5</sub>			

## 電線貫通部の強度計算結果(4/4)

## ⑥ JSME PVB-3140 (6) の計算結果

電線貫通部においては、機械的荷重が作用しないよう設計しているため、本規定の検討の必要はない。

## (5) 疲労解析叙階規程確認結果

PVB-3140	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧			
(2)	a. 運転時の圧力変動			
	b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動			
(3)	起動→定常運転→停止での温度差			
(4)	運転時の温度変動			
(5)	a. 異種材接合部の温度変動			
	b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動			
(6)	機械的荷重の変動			
評価：				

FORMAT-2 電線貫通部 スリーブ

貫通部番号

原子炉格納容器

スリーブの強度計算結果 (1/19)

a. 規格計算

(1) スリーブ本体 (管台) の厚さの計算

最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	スリーブ 本体の外径 (mm)	許容 引張応力 (MPa)	継手効率	必要な厚さ (mm)	計算上 必要な厚さ (mm)	炭素鋼鋼管の 必要な厚さ (mm)	実際使用 最小厚さ (mm)
P		D <sub>1</sub>	S <sub>mc</sub>	η	t <sub>nr</sub>	t <sub>nr1</sub>	t <sub>nr2</sub>	t <sub>n</sub>
評価:								



## スリーブの強度計算結果 (2/19)

## b. 応力計算

## (1) 諸元

最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	スリーブ本体			スリーブ取付部				材 料
		外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	補強板外径 (mm)	補強板厚さ (mm)	胴板中心 直 径 (mm)	胴板厚さ (mm)	
P		D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	D	t	

## (2) 設計外力

評価点	荷重作用点の距離 e (mm)	電線貫通部本体等からの反力		設計外力	
		f <sub>x</sub> (N)	f <sub>y</sub> (N)	F <sub>x</sub> (N)	M <sub>z</sub> ' (×10 <sup>3</sup> N・mm)
L <sub>i</sub> , L <sub>o</sub>					
S <sub>i</sub> , S <sub>o</sub>					

## スリーブの強度計算結果 (3/19)

## (3) 最高使用圧力による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)										
	軸方向応力 $\sigma_x$			円周方向応力 $\sigma_y$				板厚方向応力 $\sigma_z$			
	一次一般 膜応力 $\frac{P \cdot R_m}{2T_1}$	二次応力 (曲げ) $\frac{6M_{o1}}{T_1^2}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6M_{o2}}{T_1^2}$	合計	一次一般 膜応力 $\frac{P \cdot R_m}{T_1}$	一次局部 膜応力 $\frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6\nu \cdot M_{o1}}{T_1^2}$	二次応力 (局部膜) $\frac{E \cdot \omega_{s2}}{R_m}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6\nu \cdot M_{o2}}{T_1^2}$	合計	一次一般 膜応力 $-P, 0$
L <sub>i</sub>											
L <sub>o</sub>											

スリーブの強度計算結果 (4/19)

(4) 設計外力による応力 (スリーブ本体)

評価点	スリーブ 外径 (mm)	スリーブ 厚さ (mm)	断面係数 ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	軸方向応力
	$D_1$	$T_1$		$\sigma_x$ 一次一般膜応力 (MPa) $\pm \frac{M_z'}{Z}$
$L_i, L_o$			$Z$	

## スリーブの強度計算結果 (5/19)

(5) 基本条件の荷重による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)											
	最高使用圧力による応力						設計外力による応力					
	(イ) 一次一般膜応力		(ロ) 一次局部膜応力				(ハ) 二次応力			(ニ) 一次一般膜応力		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>												
L <sub>o</sub>												

スリーブの強度計算結果 (6/19)

(6) 基本条件による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)											
	一次一般膜応力 (イ+ニ)			一次局部膜応力 (ロ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+三)			一次+二次応力 (イ+ロ+ハ+三)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>												
L <sub>o</sub>												

## スリーブの強度計算結果 (7/19)

## (7) 基本条件における応力強さ (スリーブ本体)

評価点	応力強さ (MPa)											
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力 + 一次曲げ応力強さ			一次 + 二次応力強さ		
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
L <sub>i</sub>												
L <sub>o</sub>												
許容値												
評価:												

## スリーブの強度計算結果 (8/19)

(8) 疲労解析除外規定確認 (スリーブ本体)

(a) JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の 3 倍の値 (MPa)	3 $S_{mc}$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
$N_1$	$3 S_{mc}$	$N_a$

(b) JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び 供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
$\Delta P$	$A_{m1}$	$P$	$S_{mc}$
$10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	$N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$S_2$	$A_{m2}$	$N_2$	$S_{2a}$

(c) JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )	任意の 2 点間の距離 (mm)	$p$ の値を超えない任意の 2 点における 容器の平均半径 (mm)	$p$ の値を超えない任意の 2 点における 容器の厚さ (mm)	温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta T_3$	$p$	$R_3$	$t_3$	$T_{3'}$
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}\text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$ )	起動停止の回数 (回)	$N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
$E_3$	$\alpha$	$N_3$	$S_{3a}$	

## スリーブの強度計算結果 (9/19)

## (d) JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、 相互の距離が p の値を超えない任意の2点間の温度差の全振幅 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	$T_{4'}$ を超える温度差の変動回数 (回)	$N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	$T_4$	$N_4$	$S_{4a}$
2点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$ )	$10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 (°C)
$E_4$	$\alpha$	$S_2$	$T_{4'}$

## (e) JSME PVB-3140 (5) の計算結果

原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討の必要はない。

## (f) JSME PVB-3140 (6) の計算結果

機械的荷重により生じる応力の全振幅 (MPa)	荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	設計外力の繰返し回数 (回)
$\Delta \sigma$	$S_6$	$N_6$



## スリーブの強度計算結果 (10/19)

## (9) 疲労解析除外規定確認結果 (スリーブ本体)

PVB-3I40	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧			
(2)	a. 運転時の圧力変動			
	b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動			
(3)	起動→定常運転→停止での温度差			
(4)	運転時の温度変動			
(5)	a. 異種材接合部の温度変動			
	b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動			
(6)	機械的荷重の変動			
評価：				

スリーブの強度計算結果 (11/19)

(10) 原子炉格納容器自重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	自重 ( $\times 10^3\text{N}$ )	胴板板心 直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	軸方向応力 $\sigma_x$
	S <sub>i</sub> , S <sub>o</sub>	W <sub>p</sub>	D	t

(11) 最高使用圧力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)		
			軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
			一次一般膜応力 $\frac{P \cdot R}{2t}$	一次一般膜応力 $\frac{P \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 $-P, 0$
S <sub>i</sub>					
S <sub>o</sub>					

## スリーブの強度計算結果(13/19)

## (12)設計外力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)															
	F <sub>x</sub> による応力				M <sub>z</sub> 'による応力				設計外力による応力の合計							
	一次応力 (局部膜)		二次応力 (曲げ)		一次応力 (局部膜)		二次応力 (曲げ)		一次応力 (局部膜)		二次応力 (曲げ)		合計			
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$		
S <sub>i</sub>																
S <sub>o</sub>																

(注)  $\sigma_z=0$

## スリーブの強度計算結果 (14/19)

## (13) 基本条件の荷重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)									
	自重による応力			最高使用圧力による応力			設計外力による応力			
	(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次一般膜応力			(ハ) 一次局部膜応力		(ニ) 二次応力	
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_z$
$S_i$										
$S_o$										

## スリーブの強度計算結果 (15/19)

## (14) 基本条件による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)											
	一次一般膜応力 (イ+ロ)			一次局部膜応力 (ハ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ)			一次+二次応力 (イ+ロ+ハ+ニ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>												
S <sub>o</sub>												

## スリーブの強度計算結果 (16/19)

(15) 基本条件における応力強さ (スリーブ取付部)

評価点	応力強さ (MPa)											
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力+ 一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
S <sub>i</sub>												
S <sub>o</sub>												
許容値												
評価:												

## スリーブの強度計算結果 (17/19)

## (16) 疲労解析除外規定確認 (スリーブ取付部)

## (a) JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の 3 倍の値 (MPa)	3 $S_{mc}$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
$N_1$	$3 S_{mc}$	$N_a$

## (b) JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び 供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
$\Delta P$	$A_{m1}$	$P$	$S_{mc}$
10 <sup>6</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	$N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$S_2$	$A_{m2}$	$N_2$	$S_{2a}$

## (c) JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離が $p$ の値を超えない任意の 2 点間の温度差 (°C)	任意の 2 点間の距離 (mm)	$p$ の値を超えない任意の 2 点における 容器の平均半径 (mm)	$p$ の値を超えない任意の 2 点における 容器の厚さ (mm)	温度差 (°C)
$\Delta T_3$	$p$	$R_3$	$t_3$	$T_{3'}$
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$ )	起動停止の回数 (回)	$N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
$E_3$	$\alpha$	$N_3$	$S_{3a}$	



## スリーブの強度計算結果 (18/19)

## (d) JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、 相互の距離が $p$ の値を超えない任意の2点間の温度差の全振幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )	温度差変動の全振幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{4'}$ を超える温度差の変動回数 (回)	$N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	$T_4$	$N_4$	$S_{4a}$
2点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}\text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$ )	$10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$E_4$	$\alpha$	$S_2$	$T_{4'}$

## (e) JSME PVB-3140 (5) の計算結果

原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討の必要はない。

## (f) JSME PVB-3140 (6) の計算結果

機械的荷重により生じる応力の全振幅 (MPa)	荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	設計外力の繰返し回数 (回)
$\Delta \sigma$	$S_6$	$N_6$

## スリーブの強度計算結果 (19/19)

## (17)疲労解析除外規定確認結果 (スリーブ取付部)

PVB-3140	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧			
(2)	a. 運転時の圧力変動 b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動			
(3)	起動→定常運転→停止での温度差			
(4)	運転時の温度変動			
(5)	a. 異種材接合部の温度変動 b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動			
(6)	機械的荷重の変動			
評価：				

資料6-2-2 重大事故等クラス2容器（原子炉格納容器）の強度計算方法

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-2-2-1
2. 原子炉格納容器の強度計算方法 .....	M3-添6-2-2-2
2.1 記号の定義 .....	M3-添6-2-2-2
2.2 強度計算方法 .....	M3-添6-2-2-5
3. 強度計算書のフォーマット .....	M3-添6-2-2-19
3.1 強度計算書のフォーマットの概要 .....	M3-添6-2-2-19
3.2 記載する数値に関する注意事項 .....	M3-添6-2-2-19
3.3 強度計算書のフォーマット .....	M3-添6-2-2-19

## 1. 概要

本資料は、資料6-1-2「重大事故等クラス2機器の強度計算の基本方針」に基づき、重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)〈第I編 軽水炉規格〉 JSME S NC1-2012」(日本機械学会)(以下「JSME」という。)の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり、原子炉格納容器電線貫通部の強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

また、材料の許容値については、「発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版) JSME S NJ1-2012」(日本機械学会)(以下「材料規格」という。)に基づくものとする。

なお、Smc値を使用する規定については、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格2005(2007) JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)(以下「JSME 2005/2007」という。)のS値に読み替えるものとする。

## 2. 原子炉格納容器の強度計算方法

### 2.1 記号の定義

電線貫通部の本体および端板の強度計算、電線貫通部のスリーブの強度計算に用いる記号について、以下に説明する。

(1) 電線貫通部 本体および端板に使用するもの

	記号	単位	定義
本体および端板の強度計算に使用するもの	P	MPa	重大事故等時の圧力に冠水時の水頭圧を考慮して求めた値
	$D_i$	mm	本体内径
	d	mm	端板外径
	$S_{mc}$	MPa	138℃における JSME 2005/2007 付録材料図表 Part5 表 3 に規定する端板材料の許容引張応力
	$S_1$	MPa	138℃における材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に規定する本体材料の設計引張強さ
	$S_2$	MPa	138℃における JSME 2005/2007 付録材料図表 Part5 表 3 に規定する端板材料の許容引張応力の 2.4 倍と材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に規定する設計引張強さの 2/3 倍の小さい方の値
	$t_{sr1}$	mm	本体の計算上必要な厚さ
	$t_1$	mm	本体の最小使用厚さ
	$t_{sr2}$	mm	端板の計算上必要な厚さ
	$t_2$	mm	端板の最小使用厚さ
	$\eta$	—	JSME 表 PVE-3240-1 に規定する容器の継手効率の値
	K	—	JSME 表 PVE-3410-1 に規定する平板の取付方法による係数
	$P_m$	MPa	一次一般膜応力強さ
$P_L$	MPa	一次局部膜応力強さ	
$P_b$	MPa	一次曲げ応力強さ	

## (2) 電線貫通部 スリーブ

	記号	単位	定義
スリーブの強度計算に使用するもの	D	mm	評価点における原子炉格納容器胴板板心直径
	$D_1$	mm	スリーブ本体の外径
	e	mm	評価点から設計外力作用点までの距離
	E	MPa	重大事故等時における使用時の温度での材料規格 Part3 第2章 表1に定める縦弾性係数
	$f_x$	N	電線貫通部本体等から受けるX方向反力
	$f_y$	N	電線貫通部本体等から受けるY方向反力
	$f_z$	N	電線貫通部本体等から受けるZ方向反力
	$F_x$	N	スリーブ本体又はスリーブ取付部の評価点に作用する設計外力のうちX方向反力
	$F_y$	N	スリーブ本体又はスリーブ取付部の評価点に作用する設計外力のうちY方向反力
	$M_z'$	N・mm	スリーブ本体又はスリーブ取付部の評価点に作用する設計外力(曲げモーメント)
	$P_1$	MPa	重大事故等時における使用時の圧力
	$P_2$	MPa	水頭圧
	R	mm	評価点における原子炉格納容器胴板板心半径
	$R_m$	mm	評価点におけるスリーブ本体の板心半径

	記 号	単 位	定 義
スリーブの強度計算に使用するもの	$S_u$	MPa	重大事故等時における使用時の温度での材料規格 Part3 第1章 表7に定める設計引張強さ
	$t$	mm	評価点における原子炉格納容器胴板厚さ
	$T_1$	mm	評価点におけるスリーブ本体の厚さ
	$W_p$	N	評価点に作用する原子炉格納容器自重
	$W_s$	N	電線貫通部全体の自重
	$Y$	-	純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比の算出に用いる係数
	$Z$	mm <sup>3</sup>	評価点におけるスリーブ本体の断面係数
	$\alpha$	-	純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比
	$\sigma_x$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器軸方向応力
	$\sigma_y$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器円周方向応力
	$\sigma_z$	MPa	スリーブ本体又は原子炉格納容器板厚方向応力
	$\omega_{s1}$	mm	スリーブ本体の評価点に作用する内圧又は水頭圧による不静定荷重によって生じるスリーブ本体の変位



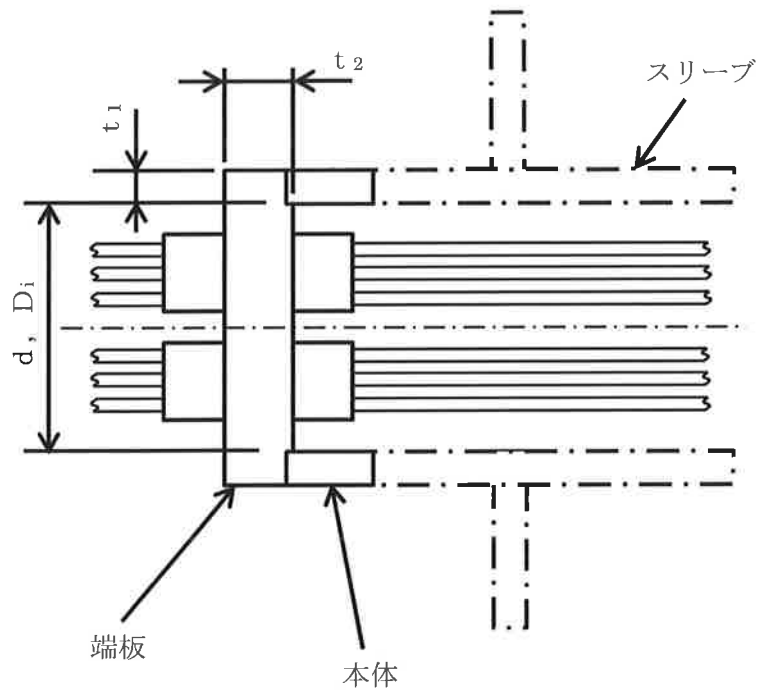
## 2.2 強度計算方法

ここでは、電線貫通部の本体および端板、また、スリーブの強度計算並びに評価方法を示す。材料の応力評価には、材料規格に応じた値を用いる。ただし、材料規格記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

### (1) 電線貫通部 本体および端板

電線貫通部の評価に当たっては、設計上定める条件である、重大事故等時の温度圧力（138℃、0.305MPa）に冠水時の水位を19.8mとした場合に電線貫通部に負荷される水頭圧（0.028MPa）を考慮した条件において、端板、本体の板厚計算、端板の応力計算を実施し、強度に対する要求事項に適合することを確認する。

電線貫通部の強度計算に使用する各寸法は、下図に示すとおりである。



第 1-1 図 電線貫通部 本体および端板の構造

a. 本体、端板の板厚計算

電線貫通部の本体、端板は第1-1表に示す方法により計算上必要な厚さを求め、計算上必要な厚さが最小使用厚さ以下であることを確認する。

なお、JSMEに基づく計算式において許容引張応力  $S_m$  を用いるものについては、設計応力強さ  $S_m$  を2.4倍した値と設計引張強さ  $S_u$  の2/3倍の値のうち小さい方（設計条件における許容引張応力  $S$  に対応する供用状態Dの許容値）を使用する。

第1-1表 本体、端板の板厚計算方法

評価部位	適用基準	計算式
本体	JSME PVE-3230 (2) a.	$t = \frac{PD_1}{2S_1 \eta - 1.2P}$
端板	JSME PVE-3410	$t_{sr} = d \sqrt{\frac{KP}{S_2}}$

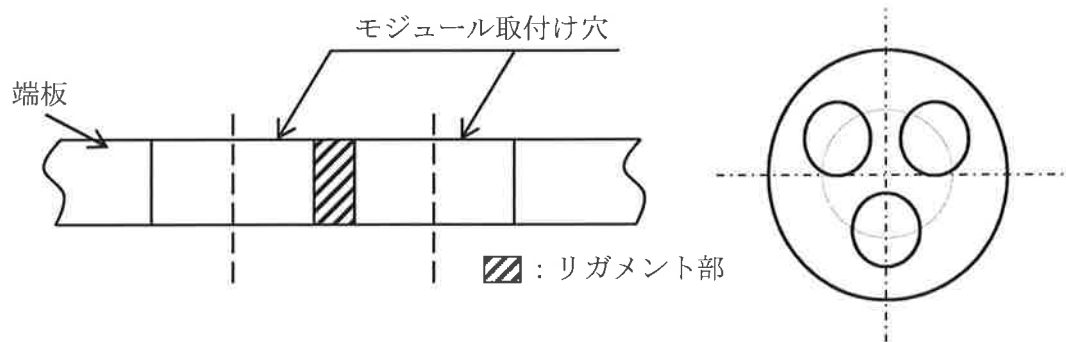
b. 端板の応力計算

電線貫通部の端板に設けた穴のうち、JSME PVE-3282における2つの穴の中心間距離の規定に準じないものについては、JSME PVE-3270の詳細解析による場合の穴の設計についての規定に適合することを確認する。

詳細解析は、重大事故等時の温度圧力 (138°C、0.305MPa) に冠水時の水頭圧 (0.028MPa) を考慮した条件で応力計算を行う。

(a) 応力計算の対象となる端板及び評価部位

応力評価部位は発生応力が最大となる端板リガメント部とする。

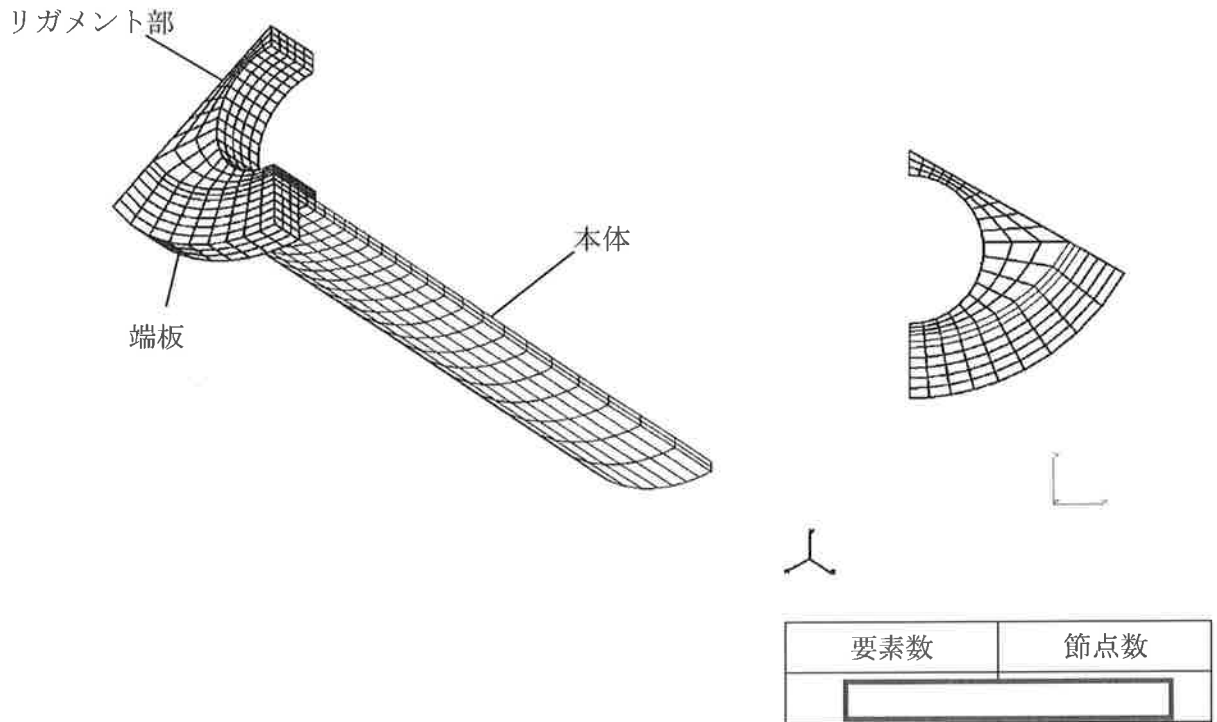


第1-2図 電線貫通部端板評価部位(端板リガメント)

(b) 端板の応力計算方法

端板に発生する応力は有限要素法解析コードNASTRAN Ver. 2008. 0. 4を用いて求める。

また、応力解析はソリッド要素によりモデル化した第1-3図の解析モデルで行う。



第 1-3 図 端板リガメント部解析モデル

(c) 端板の応力評価方法

(b) 項で求めた端板リガメント部の発生応力について、JSME PVE-3111における供用状態Dの許容値を満足することを確認する。

端板リガメント部の供用状態Dにおける荷重の組合せ及び応力強さの限界は第1-2表に示すとおりである。

また、材料の許容引張応力及び応力強さの限界を第1-3表に示す。

第 1-2 表 荷重の組合せ及び応力強さの限界

荷重の組合せ	応力強さの限界		
	一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力+ 一次曲げ 応力強さ
①電線貫通部自重 ②重大事故等時の圧力 ③冠水時の水頭圧	$2.4S_{mc}$ と $2/3S_u$ のうち小さい方	$1.5 \times 2.4S_{mc}$ と $1.5 \times 2/3S_u$ のうち小さい方	(注1) $\alpha \times 2.4S_{mc}$ と $\alpha \times 2/3S_u$ のうち小さい方

(注1) 一次一般膜応力強さの限界を定める値に純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値を乗じた値とする。なお、本資料で評価する端板リガメント部の断面は中実矩形断面であるため1.5とする。

第 1-3 表 材料の許容引張応力、応力強さの限界

使用箇所	材 料	使用時の 温度(°C)	$S_u$ (MPa)	許容引張応力 (MPa)	応力強さの限界 (MPa)
端板	SUS304L	138	394	$2/3S_u$	$1.5 \times 2/3S_u$
				262	394

## (2) 電線貫通部 スリーブ

スリーブ（スリーブ本体及びスリーブ取付部）の強度評価に当たっては、設計上定める条件である重大事故等時における使用時の圧力（0.305MPa）、温度（138℃）に対する一次応力が、材料の設計引張強さ（ $S_u$ ）を許容基準とする供用状態Dの許容応力以下となることを確認することで、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認する。

スリーブの評価において、考慮すべき荷重は、自重、重大事故等時における使用時の圧力、原子炉格納容器下部の水頭圧及び設計外力（電線貫通部本体等からの荷重）である。自重については、スリーブ取付部の評価では既設工認と同様に原子炉格納容器固定端（弾性充てん材下端）の自重とし、スリーブ本体の評価では設計外力として考慮する。水頭圧は、原子炉格納容器固定端（弾性充てん材上端）に生じる水頭圧が作用するものとする。また、電線ケーブルは柔軟な構造であり、スリーブは電線貫通部本体等からの有意な反力を受けないため、設計外力としては電線貫通部全体の自重（ $W_s = f_z$ ）のみ作用するものとする。ただし、スリーブ軸直角方向に作用する  $f_z$  は、 $f_y$  方向に作用すると仮定した方が、スリーブ取付部における応力が保守的に算出されるため、 $f_z$  のスリーブ軸直角方向の荷重は、 $f_y$  方向に作用するものとする。

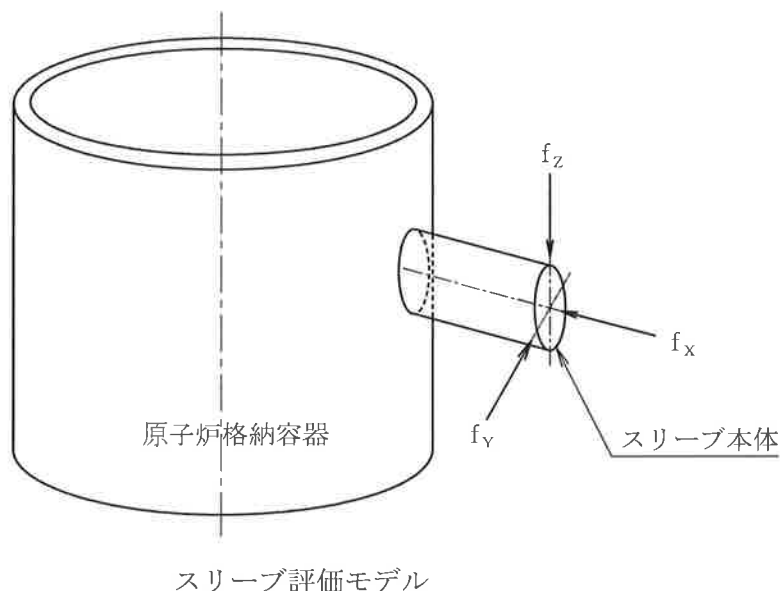
ここで、スリーブに作用する設計外力は発生する応力の特性を考慮して、それぞれ次に示すように取り扱う。

スリーブ本体、スリーブ取付部共通：

$F_x$ ：スリーブ軸方向に作用する有意な反力はないので  $F_x = 0$  とする。

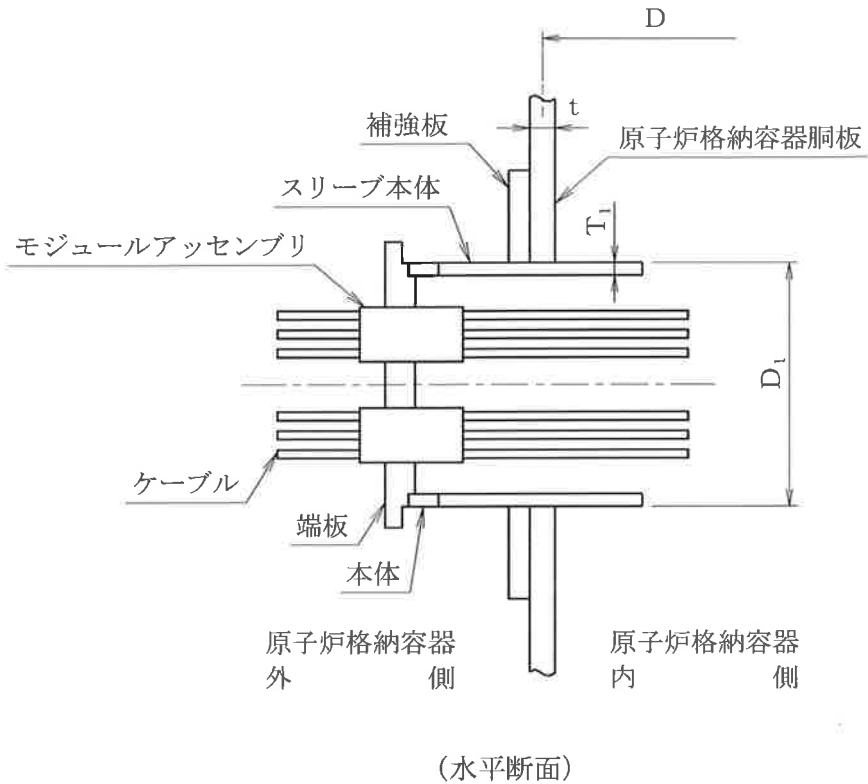
$F_y$ ：原子炉格納容器の電線貫通部本体等からの反力  $f_y$  を  $F_y$  とする。

$F_y$  によるせん断応力は微小であり無視するが、 $F_y$  によって生じる曲げモーメントを  $M_z'$  とし、 $M_z'$  による応力を計算する。



a. スリーブ基本形状

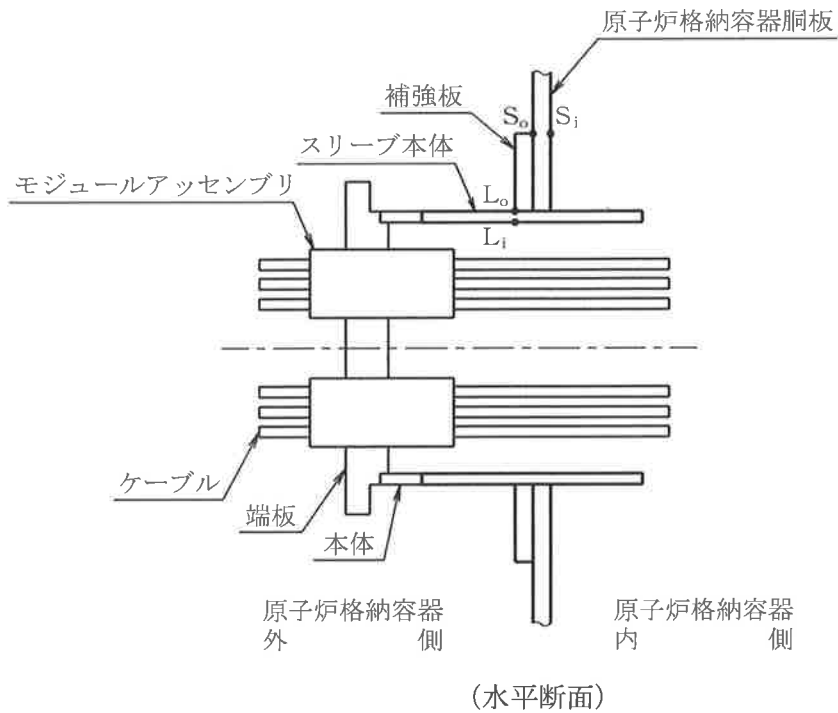
評価するスリーブの基本形状を第2-1図に示す。



第2-1図 スリーブ基本形状

b. 評価部位

スリーブの評価部位は、第 2-2 図に示すとおり、構造不連続部であるスリーブ本体と原子炉格納容器胴板の接続部（L 点（ $L_i$ 、 $L_o$ ）：スリーブ本体）及び補強板端部（S 点（ $S_i$ 、 $S_o$ ）：スリーブ取付部）とする。



第 2-2 図 スリーブ評価部位

c. スリーブの応力計算方法

(a) スリーブ本体の応力計算方法

イ. 内圧（重大事故等時における使用時の圧力及び水頭圧）による応力

スリーブ本体に作用する内圧（重大事故等時における使用時の圧力及び水頭圧）による応力は、平成 28 年 10 月 26 日付け原規規発第 1610261 号にて認可された工事計画の資料 36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の別添 1 と同様の方法で算出する。

応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \frac{P_i \cdot R_m}{2T_1} \quad (i=1, 2) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = \frac{P_i \cdot R_m}{T_1} \quad (i=1, 2) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_z = -P_i \quad (i=1, 2) \quad (\text{スリーブ本体内面})$$

(一次一般膜応力)

$$\sigma_z = 0 \quad (\text{スリーブ本体外面})$$

(一次一般膜応力)

$$\sigma_y = \frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m} \quad (\text{一次局部膜応力})$$



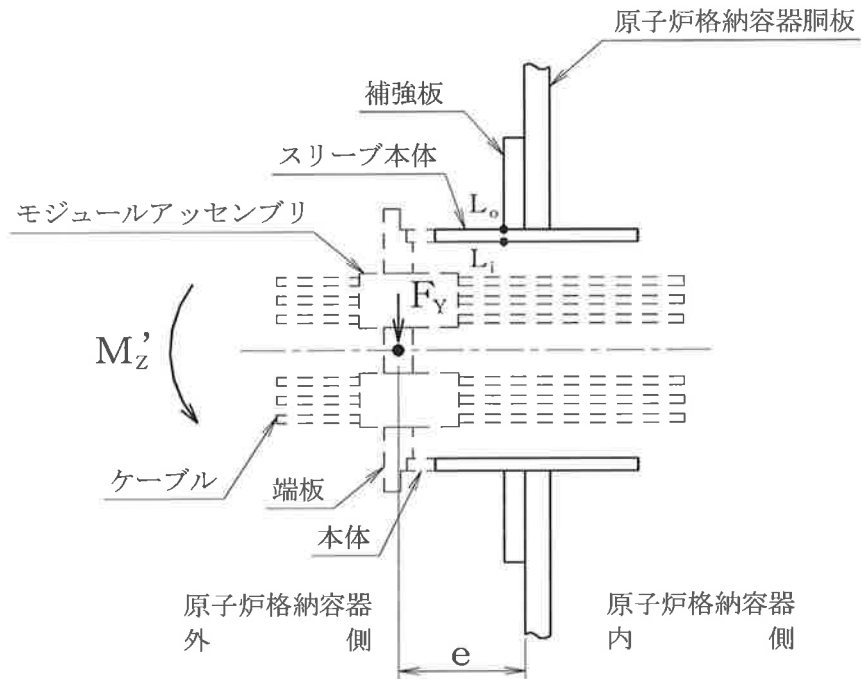
ロ. 設計外力による応力

(イ) 設計外力

荷重作用点は第 2-3 図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。  
 このためスリーブ本体には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

スリーブ本体に作用する曲げモーメント $M_Z'$  は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$



(水平断面)

第 2-3 図 スリーブ本体評価点に作用する設計荷重

(ロ) 計算式

設計外力の曲げモーメントによる応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{M_z'}{Z} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$Z = \frac{\pi \{D_1^4 - (D_1 - 2T_1)^4\}}{32D_1}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

(b) スリーブ取付部の応力計算方法

イ. 原子炉格納容器自重による応力

原子炉格納容器及び附属物の自重による応力は次の式により求める。

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{W_p}{\pi \cdot D \cdot t} && \text{(一次一般膜応力)} \\ \sigma_y &= 0 \\ \sigma_z &= 0\end{aligned}$$

ロ. 内圧（重大事故等時における使用時の圧力及び水頭圧）による応力

原子炉格納容器の内圧（重大事故等時における使用時の圧力及び水頭圧）による応力は次の式により求める。

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{P_1 \cdot R}{2t} && \text{(一次一般膜応力)} \\ \sigma_y &= \frac{P_i \cdot R}{t} && (i=1, 2) \text{ (一次一般膜応力)} \\ \sigma_z &= -P_i && (i=1, 2) \text{ (原子炉格納容器内側)} \\ &&& \text{(一次一般膜応力)} \\ \sigma_z &= 0 && \text{(原子炉格納容器外側)} \\ &&& \text{(一次一般膜応力)}\end{aligned}$$

(注) 水頭圧による原子炉格納容器軸方向の応力は生じないため、 $\sigma_x=0$

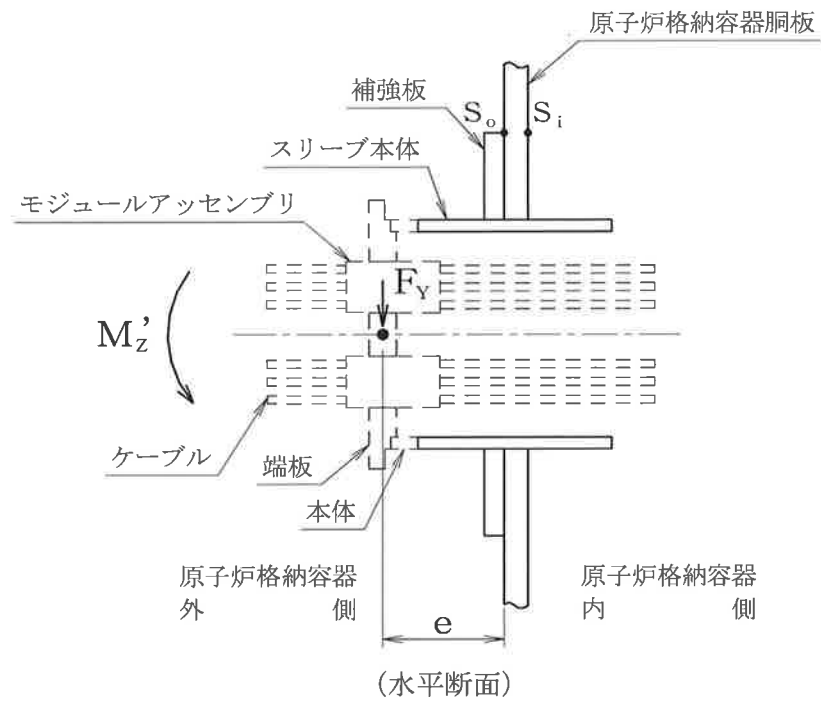
ハ. 設計外力による応力

(イ) 設計外力

荷重作用点は第 2-4 図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。このためスリーブ取付部には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

スリーブ取付部に作用する曲げモーメント $M_Z'$  は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$

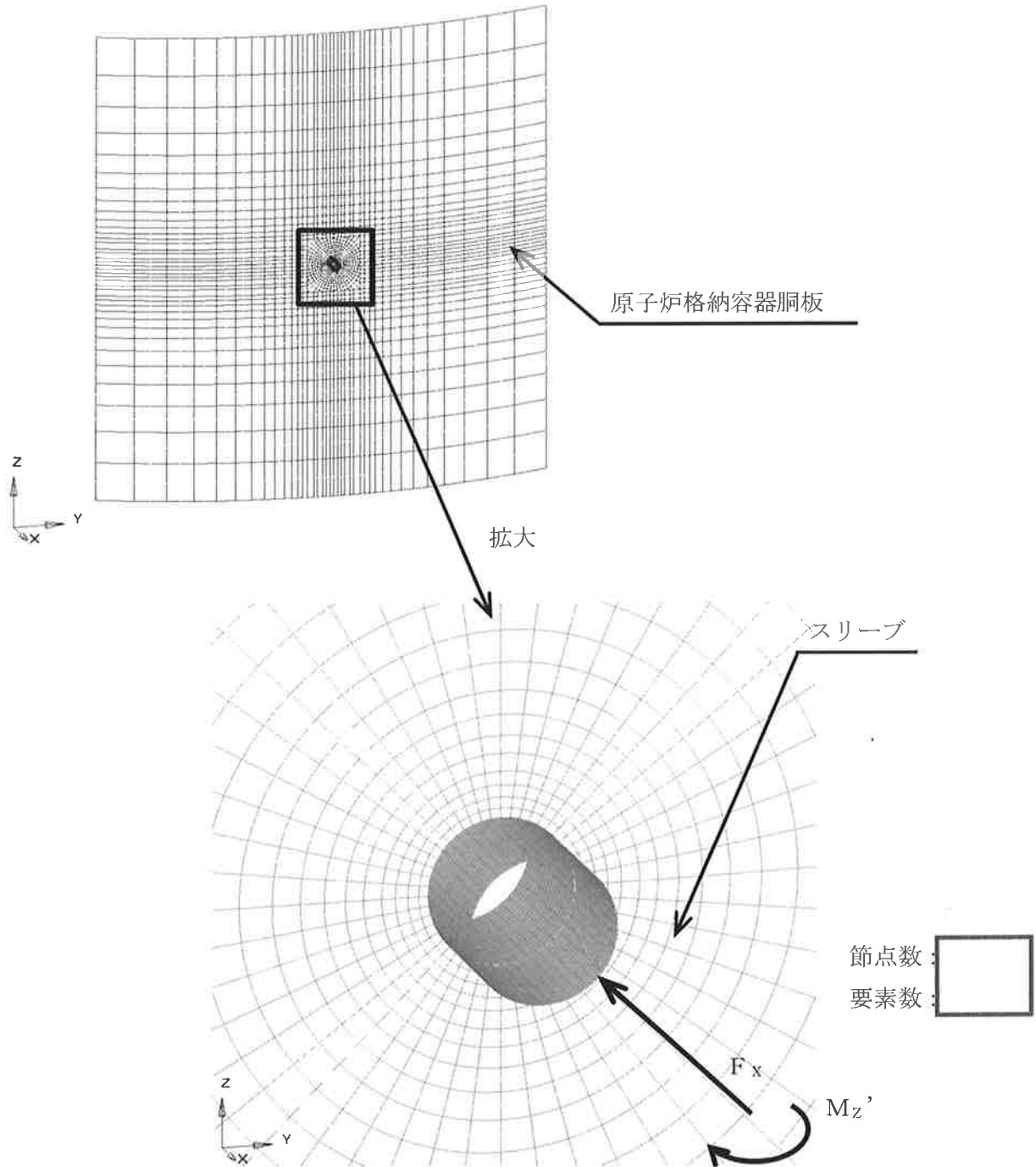


第 2-4 図 スリーブ取付部評価点に作用する設計荷重

(ロ) 応力

設計外力により発生する局部膜応力は、有限要素法解析コード NASTRAN Ver. 2005r3b を用いて求める。

応力解析は、第2-5図に示すとおり板要素によりモデル化した解析モデルで行う。



第2-5図 スリーブ取付部解析モデル

d. スリーブの応力評価方法

応力評価は、JSME の供用状態Dに基づき実施する。

ここで、荷重の組合せ、評価すべき応力分類及び許容値は、第 2-1 表のとおりとする。

第 2-1 表 荷重の組合せ、評価すべき応力分類及び許容値

荷重の組合せ	応力分類と許容値		
	一次一般膜 応力強さ	一次局部膜 応力強さ	一次膜応力 +一次曲げ 応力強さ
①重大事故等時における 使用時の圧力	2/3 S <sub>u</sub>	1.5 × 2/3 S <sub>u</sub>	α × 2/3 S <sub>u</sub> (注)
②機械的荷重			
③水頭圧			

(注) α は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値。

スリーブ本体についての α は以下のとおり。

$$\alpha = \frac{32(1 - Y^3)}{6\pi(1 - Y^4)} = 1.3$$

ただし、 $Y = (D_1 - 2T_1) / D_1$

また、原子炉格納容器本体の一部であるスリーブ取付部についての α は中実矩形断面のため 1.5 とする。

### 3. 強度計算書のフォーマット

#### 3.1 強度計算書のフォーマットの概要

強度評価書のフォーマットは、耐圧部分を構成する部材について下記3.3項のフォーマットを必要に応じて組み合わせるものとし、フォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

#### 3.2 記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち、計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄に  として記載する。

#### 3.3 強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-1 電線貫通部 本体および端板の強度計算結果

FORMAT-2 電線貫通部 スリーブの強度計算結果

FORMAT-1 電線貫通部 本体および端板

貫通部番号

重大事故等クラス2容器

電線貫通部の強度計算結果

(1) 本体の板厚計算

電線貫通部 形式	評価圧力 (MPa)	評価温度 (°C)	本体内径 (mm)	設計引張強さの 2/3 倍の値 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
	P							
モジュラー型						$\eta$		

(2) 端板の板厚計算

電線貫通部 形式	評価圧力 (MPa)	評価温度 (°C)	端板外径 (mm)	設計引張強さの 2/3 倍の値 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
	P							
モジュラー型						K		

評価：

(3) 供用状態Dにおける応力強さ

電線貫通部 形式	応力 (MPa)	
	一次一般膜応力 $P_m$	一次膜＋一次曲げ応力 $P_L + P_b$
モジュラー型		
許容値		
評価：		



FORMAT-2 電線貫通部 スリーブ

貫通部番号 \_\_\_\_\_

スリーブの強度計算結果 (1/14)

(1) 諸元

重大事故等時における使用時の圧力 (MPa)	水頭圧 (MPa)	重大事故等時における使用時の温度 (°C)	スリーブ本体			スリーブ取付部		
			外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	胴板直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	材料
P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>		D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>		D	t	

(2) 設計外力

評価点	荷重作用点の距離 e (mm)	電線貫通部本体等からの反力			設計外力	
		f <sub>x</sub> (N)	f <sub>y</sub> (N)	F <sub>x</sub> (N)	M <sub>z</sub> ' (×10 <sup>3</sup> N・mm)	
L <sub>i</sub> 、L <sub>o</sub>						
S <sub>i</sub> 、S <sub>o</sub>						

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (2/14)

(3) 重大事故等時における使用時の圧力による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)			
	軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$		板厚方向応力 $\sigma_z$
	一次一般 膜応力 $\frac{P_1 \cdot R_m}{2T_1}$	一次一般 膜応力 $\frac{P_1 \cdot R_m}{T_1}$	一次局部 膜応力 $\frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m}$	一次一般 膜応力 $-P_1, 0$
	合計	合計		
$L_i$				
$L_o$				

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (3/14)

(4) 水頭圧による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)			
	軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$		板厚方向応力 $\sigma_z$
	一次一般 膜応力 $\frac{P_2 \cdot R_m}{2T_1}$	一次一般 膜応力 $\frac{P_2 \cdot R_m}{T_1}$	一次局部 膜応力 $\frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m}$	一次一般 膜応力 $-P_2、0$
	合計	合計		
L <sub>i</sub>				
L <sub>o</sub>				

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (4/14)

(5) 設計外力による応力 (スリーブ本体)

評価点	スリーブ 外径	スリーブ 厚さ	断面係数 ( $\times 10^8 \text{mm}^3$ )	軸方向応力 $\sigma_x$ 一次一般膜応力 (MPa) $\pm \frac{M_z'}{Z}$
	(mm) $D_1$	(mm) $T_1$		
$L_i, L_o$				

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (5/14)

(6) SA条件の荷重による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)														
	重大事故等時における使用時の圧力 による応力						水頭圧による応力						設計外力による応力		
	(イ) 一次一般膜応力		(ロ) 一次局部膜応力		(ハ) 一次一般膜応力		(ニ) 一次局部膜応力		(ホ) 一次一般膜応力		(ヘ) 一次一般膜応力				
$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	
L <sub>i</sub>															
L <sub>o</sub>															

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (6/14)

(7) SA条件による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)								
	一次一般膜応力 (イ+ハ+ホ)			一次局部膜応力 (ロ+ニ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ+ニ+ホ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>									
L <sub>o</sub>									

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (7/14)

(8) 評価結果 (スリーブ本体)

評価点	応力強さ (MPa)											
	一次一般膜応力強さ				一次局部膜応力強さ				一次膜応力 + 一次曲げ応力強さ			
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$		$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$		$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	
	y	*	x		y	*	x	y	*	x	y	x
$L_i$												
$L_o$												
許容値												
評価:												

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (8/14)

(9) 原子炉格納容器自重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	自重 ( $\times 10^3\text{N}$ )	胴板板心 直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	軸方向応力 $\sigma_x$
		$W_p$	$D$	$t$
$S_i, S_o$				



貫通部番号

スリーブの強度計算結果(9/14)

(10) 重大事故等時における使用時の圧力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)		
			軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
	R	t	一次一般膜応力 $\frac{P_1 \cdot R}{2t}$	一次一般膜応力 $\frac{P_1 \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 -P <sub>1</sub> 、0
S <sub>i</sub>					
S <sub>o</sub>					

貫通部番号

スリーブの強度計算結果(10/14)

(11) 水頭圧による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)	
			円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
	R	t	一次一般膜応力 $\frac{P_2 \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 $-P_2、0$
S <sub>i</sub>				
S <sub>o</sub>				

貫通部番号

スリーブの強度計算結果(11/14)

(12) 設計外力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)	
	$M_z'$ による応力 一次応力 (局部膜)	
	$\sigma_x$	$\sigma_y$
$S_i$		
$S_o$		

(注)  $\sigma_z=0$

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (12/14)

(13) SA条件の荷重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)											
	自重による応力			重大事故等時における 使用時の圧力による応力			水頭圧による応力			設計外力による応力		
	(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次一般膜応力			(ハ) 一次一般膜応力			(ニ) 一次局部膜応力		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>												
S <sub>o</sub>												

貫通部番号

スリーブの強度計算結果 (13/14)

(14) SA条件による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)								
	一次一般膜応力 (イ+ロ+ハ)			一次局部膜応力 (ニ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ+ニ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>									
S <sub>o</sub>									

貫通部番号 \_\_\_\_\_

スリーブの強度計算結果 (14/14)

(15) 評価結果 (スリーブ取付部)

評価点	応力強さ(MPa)								
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力+ 一次曲げ応力強さ		
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
S <sub>i</sub>									
S <sub>o</sub>									
許容値									
評価:									

資料 6 - 3 強度計算書の概要

目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添6-3-1



## 1. 概要

本資料は、原子炉格納容器及び重大事故等クラス2機器が十分な強度を有することの確認結果を示すものであり、以下の資料により構成されている。

資料6-3-1 原子炉格納容器の強度計算書

資料6-3-2 重大事故等クラス2容器（原子炉格納容器）の強度計算書

資料 6-3-1 原子炉格納容器の強度計算書

目 次

	頁
1. 電線貫通部 本体および端板の強度計算書 .....	M3-添6-3-1-1
2. 電線貫通部 スリーブの強度計算書 .....	M3-添6-3-1-6

1. 電線貫通部 本体および端板の強度計算書

電線貫通部の強度計算結果(1/4)

(1) 本体の板厚計算

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	本体径 (mm)	許容引張応力 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
P		$D_i$	$S_{mc1}$		$\eta$	t	$t_1$
0.261	122		131	STS480	1.0	0.3	10.3

評価：上記の最小使用厚さは、計算上必要な厚さ以上であるので、強度は十分である。

(2) 端板の板厚計算

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	端板径 (mm)	許容引張応力 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
P		d	$S_{mc2}$		K	$t_{sr}$	$t_2$
0.261	122		124	SUS304L	0.33	7.9	52

評価：上記の最小使用厚さは、計算上必要な厚さ以上であるので、強度は十分である。

(3) 基本条件における応力強さ

評価点	応 力 (MPa)			
	一次一般膜応力	一次局部膜応力	一次膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力
	$P_m$	$P_L$	$P_L+P_b$	$P_L+P_b+Q$
リガメント部	8	1	11	11
許容値	115	172	172	345

評価：いずれも応力強さの限界を満足している。

(4) 疲労解析除外規定確認

① JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の3倍の値 (MPa)	$3S_2$ を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
$N_1$	$3S_{mc2}$	$N_n$
40	372	2,000

## 電線貫通部の強度計算結果(2/4)

## ② JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び 供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
$\Delta P$	$A_{m1}$	P	$S_2$
[Redacted]			
$10^{11}$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	$A_{m1}$ の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	$N_2$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$S_3$	$A_{m2}$	$N_2$	$S_a$
[Redacted]			

## ③ JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )	任意の 2 点間の距離 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の平均半径 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の厚さ (mm)	温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta T_1$	p	R	$t_3$	$T_1$
[Redacted]				
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}\text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$ )	起動停止の回数 (回)	$N_3$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
$E_1$	$\alpha_1$	$N_3$	$S_{1a}$	
[Redacted]				

## 電線貫通部の強度計算結果(3/4)

## ④ JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態 A 及び供用状態 B において、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差の全振幅 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	T <sub>3</sub> を超える温度差の変動回数 (回)	N <sub>4</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	T <sub>2</sub>	N <sub>4</sub>	S <sub>2a</sub>
[Redacted]			
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	10 <sup>11</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 (°C)
E <sub>1</sub>	$\alpha_1$	S <sub>3</sub>	T <sub>3</sub>
[Redacted]			

## ⑤ JSME PVB-3140 (5) の計算結果

供用状態 A 及び供用状態 B において、 材料規格 Part3 第 2 章 表 1 および表 2 に規定する縦弾性係数 または熱膨張係数の値が異なる材料で作られた部分の温度の変 動 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	T <sub>4</sub> を超える温度差の変動回数 (回)	N <sub>5</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_2$	T <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	S <sub>3a</sub>
[Redacted]			
p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part3 第 2 章 表 1 に規定する縦弾性係数の値 (MPa)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part3 第 2 章 表 1 に規定する縦弾性係数の値 (MPa)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part3 第 2 章 表 2 に規定する瞬時熱膨張係数 の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)	p の値を超えない任意の 2 点における材料規格 Part3 第 2 章 表 2 に規定する瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm°C)
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	$\alpha_1$	$\alpha_2$
[Redacted]			
温度差変動の全振幅 (°C)			
T <sub>5</sub>			
[Redacted]			

## 電線貫通部の強度計算結果(4/4)

## ⑥ JSME PVB-3140 (6) の計算結果

電線貫通部においては、機械的荷重が作用しないよう設計しているため、本規定の検討の必要はない。

## (5) 疲労解析叙階規程確認結果

PVB-3140	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧	繰り返し回数	[Redacted]	$2 \times 10^4$ 回
(2)	a. 運転時の圧力変動 b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動	圧力変動の全振幅 圧力変動の全振幅		0.115MPa 1.403MPa
(3)	起動→定常運転→停止での温度差	2点間の温度差		307°C
(4)	運転時の温度変動	2点間の温度差の変動の全振幅		307°C
(5)	a. 異種材接合部の温度変動 b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動	異種接合部の温度差 異種接合部の温度差		112°C 1,362°C
(6)	機械的荷重の変動	電線貫通部は、機械的荷重が作用しないよう設計しているため、本規定の検討は不要		

評価：規定はすべて満足されており、疲労解析を要しない。



2. 電線貫通部スリーブの強度計算書

スリーブの強度計算結果 (1/19)

a. 規格計算

(1) スリーブ本体 (管台) の厚さの計算

最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	スリーブ 本体の外径 (mm)	許容 引張応力 (MPa)	継手効率	必要な厚さ (mm)	計算上 必要な厚さ (mm)	炭素鋼鋼管の 必要な厚さ (mm)	実際使用 最小厚さ (mm)
P		D <sub>1</sub>	S <sub>mc</sub>	η	t <sub>nr</sub>	t <sub>nr1</sub>	t <sub>nr2</sub>	t <sub>n</sub>
0.261	122							

評価：上記の実際使用最小厚さ t<sub>n</sub> は、必要な厚さ t<sub>nr</sub> 以上であるので強度は十分である。

## スリーブの強度計算結果 (2/19)

## b. 応力計算

## (1) 諸元

最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	スリーブ本体			スリーブ取付部				材 料
		外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	補強板外径 (mm)	補強板厚さ (mm)	胴板板心 直 径 (mm)	胴板厚さ (mm)	
P		D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	D	t	
0.261	122			ASTM A333 Gr. 6 (GSTPL相当)					SGV49 (SGV480)

## (2) 設計外力

評価点	荷重作用点の距離 e (mm)	電線貫通部本体等からの反力		設計外力	
		f <sub>x</sub> (N)	f <sub>y</sub> (N)	F <sub>x</sub> (N)	M <sub>z</sub> ' (×10 <sup>3</sup> N・mm)
L <sub>i</sub> , L <sub>o</sub>					
S <sub>i</sub> , S <sub>o</sub>					

スリーブの強度計算結果 (3/19)

(3) 最高使用圧力による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)						
	軸方向応力 $\sigma_x$			円周方向応力 $\sigma_y$			
	一次一般 膜応力 $\frac{P \cdot R_m}{2T_1}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6M_{o1}}{T_1^2}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6M_{o2}}{T_1^2}$	合計	一次一般 膜応力 $\frac{P \cdot R_m}{T_1}$	一次局部 膜応力 $\frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m}$	二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6\nu \cdot M_{o1}}{T_1^2}$
							二次応力 (局部膜) $\frac{E \cdot \omega_{s2}}{R_m}$
							二次応力 (曲げ) $\pm \frac{6\nu \cdot M_{o2}}{T_1^2}$
							合計
							一次一般 膜応力 $-P, 0$
L <sub>i</sub>							
L <sub>o</sub>							

スリーブの強度計算結果 (4/19)

(4) 設計外力による応力 (スリーブ本体)

評価点	スリーブ 外径 (mm)	スリーブ 厚さ (mm)	断面係数 ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	軸方向応力
	$D_1$	$T_1$		$Z$
$L_i, L_o$				1.0 -1.0

スリーブの強度計算結果 (5/19)

(5) 基本条件の荷重による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)											
	最高使用圧力による応力						設計外力による応力					
	(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次局部膜応力			(ハ) 二次応力					
L <sub>i</sub>	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
	[Redacted]											
L <sub>o</sub>	[Redacted]											

スリーブの強度計算結果 (6/19)

(6) 基本条件による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)											
	一次一般膜応力 (イ+ニ)			一次局部膜応力 (ロ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ニ)			一次+二次応力 (イ+ロ+ハ+ニ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>												
L <sub>o</sub>												

スリーブの強度計算結果 (7/19)

(7) 基本条件における応力強さ (スリーブ本体)

評価点	応力強さ (MPa)											
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力 + 一次曲げ応力強さ			一次 + 二次応力強さ		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>	[Redacted]											
L <sub>o</sub>												
許容値	S <sub>mc</sub> = 129			1.5 S <sub>mc</sub> = 193			1.3 S <sub>mc</sub> = 167			3 S <sub>mc</sub> = 387		
評価：いずれも応力強さの限界を満足している。												



## スリーブの強度計算結果 (8/19)

## (8) 疲労解析除外規定確認 (スリーブ本体)

## (a) JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の3倍の値 (MPa)	3S <sub>mc</sub> を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
N <sub>1</sub>	3S <sub>mc</sub>	N <sub>a</sub>
[Redacted]		

## (b) JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態A及び 供用状態Bにおける実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
ΔP	A <sub>m1</sub>	P	S <sub>mc</sub>
[Redacted]			
10 <sup>6</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	A <sub>m1</sub> の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	N <sub>2</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
S <sub>2</sub>	A <sub>m2</sub>	N <sub>2</sub>	S <sub>2a</sub>
[Redacted]			

## (c) JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離がpの値を超えない任意の2点間の温度差 (°C)	任意の2点間の距離 (mm)	pの値を超えない任意の2点における 容器の平均半径 (mm)	pの値を超えない任意の2点における 容器の厚さ (mm)	温度差 (°C)
ΔT <sub>3</sub>	p	R <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>	T <sub>3'</sub>
[Redacted]				
2点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 (×10 <sup>-6</sup> mm/mm°C)	起動停止の回数 (回)	N <sub>3</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
E <sub>3</sub>	α	N <sub>3</sub>	S <sub>3a</sub>	
[Redacted]				

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (9/19)

(d) JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差の全振幅 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	$T_{4'}$ を超える温度差の変動回数 (回)	$N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	$T_4$	$N_4$	$S_{4a}$
[Redacted]			
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$ )	$10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 (°C)
$E_4$	$\alpha$	$S_2$	$T_{4'}$
[Redacted]			

(e) JSME PVB-3140 (5) の計算結果

原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討の必要はない。

(f) JSME PVB-3140 (6) の計算結果

機械的荷重により生じる応力の全振幅 (MPa)	荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	設計外力の繰返し回数 (回)
$\Delta \sigma$	$S_6$	$N_6$
[Redacted]		

## スリーブの強度計算結果 (10/19)

## (9) 疲労解析除外規定確認結果 (スリーブ本体)

PVB-3140	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧	繰返し回数	[ ]	2,592回
(2)	a. 運転時の圧力変動	圧力変動の全振幅		0.055MPa
	b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動	圧力変動の全振幅		1.341MPa
(3)	起動→定常運転→停止での温度差	2点間の温度差		200℃
(4)	運転時の温度変動	2点間の温度差の 変動の全振幅		391℃
(5)	a. 異種材接合部の温度変動	原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨 張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討は不要		
	b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動			
(6)	機械的荷重の変動	応力の全振幅	[ ]	689MPa

評価：規定はすべて満足されており、疲労解析を要しない。

スリーブの強度計算結果 (11/19)

(10) 原子炉格納容器自重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	自重 ( $\times 10^3\text{N}$ )	胴板板心 直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	軸方向応力 $\sigma_x$
	$S_i, S_o$	$W_p$	D	t
				-6.1

## スリーブの強度計算結果(12/19)

(11) 最高使用圧力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)		
			軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
			一次一般膜応力 $\frac{P \cdot R}{2t}$	一次一般膜応力 $\frac{P \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 $-P, 0$
S <sub>i</sub>					
S <sub>o</sub>					

スリーブの強度計算結果(13/19)

(12)設計外力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)											
	F <sub>x</sub> による応力		M <sub>z</sub> 'による応力		設計外力による応力の合計							
	二次応力 (曲げ)		一次応力 (局部膜)		二次応力 (曲げ)		一次応力 (局部膜)		二次応力 (曲げ)		合計	
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$
S <sub>i</sub>	[Redacted]											
S <sub>o</sub>												

(注)  $\sigma_z=0$

スリーブの強度計算結果 (14/19)

(13) 基本条件の荷重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)										
	自重による応力			最高使用圧力による応力			設計外力による応力				
	(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次一般膜応力			(ハ) 一次局部膜応力		(ニ) 二次応力		
$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>	[Empty Box]										
S <sub>o</sub>											

(14) 基本条件による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)											
	一次一般膜応力 (イ+ロ)			一次局部膜応力 (ハ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ)			一次+二次応力 (イ+ロ+ハ+ニ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>												
S <sub>o</sub>												



(15) 基本条件における応力強さ (スリーブ取付部)

評価点	応力強さ (MPa)											
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力+ 一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
$S_i$												
$S_o$												
許容値	$S_{mc} = 150$			$1.5 S_{mc} = 225$			$1.5 S_{mc} = 225$			$3 S_{mc} = 450$		
評価：いずれも応力強さの限界を満足している。												

スリーブの強度計算結果 (17/19)

(16) 疲労解析除外規定確認 (スリーブ取付部)

(a) JSME PVB-3140 (1) の計算結果

大気圧から運転圧力となり、 再び大気圧に戻る実際の繰返し回数 (回)	許容引張応力の 3 倍の値 (MPa)	3 S <sub>mc</sub> を繰返しピーク応力強さとした場合に、 これに対応する許容繰返し回数 (回)
N <sub>1</sub>	3 S <sub>mc</sub>	N <sub>a</sub>
[Redacted]		

(b) JSME PVB-3140 (2) の計算結果

起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態 A 及び 供用状態 B における実際の圧力変動の全振幅 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	最高使用圧力 (MPa)	許容引張応力の値 (MPa)
Δ P	A <sub>m1</sub>	P	S <sub>mc</sub>
[Redacted]			
10 <sup>6</sup> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	圧力変動の全振幅 (MPa)	A <sub>m1</sub> の値を超える実際の圧力変動の回数 (回)	N <sub>2</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
S <sub>2</sub>	A <sub>m2</sub>	N <sub>2</sub>	S <sub>2a</sub>
[Redacted]			

(c) JSME PVB-3140 (3) の計算結果

起動時及び停止時において、 相互の距離が p の値を超えない任意の 2 点間の温度差 (°C)	任意の 2 点間の距離 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の平均半径 (mm)	p の値を超えない任意の 2 点における 容器の厚さ (mm)	温度差 (°C)
Δ T <sub>3</sub>	p	R <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>	T <sub>3'</sub>
[Redacted]				
2 点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2 点間の平均温度における 瞬時熱膨張係数の値 (× 10 <sup>-6</sup> mm/mm°C)	起動停止の回数 (回)	N <sub>3</sub> を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	
E <sub>3</sub>	α	N <sub>3</sub>	S <sub>3a</sub>	
[Redacted]				

## スリーブの強度計算結果 (18/19)

## (d) JSME PVB-3140 (4) の計算結果

起動時及び停止時を除く供用状態A及び供用状態Bにおいて、 相互の距離が p の値を超えない任意の2点間の温度差の全振幅 (°C)	温度差変動の全振幅 (°C)	$T_{4'}$ を超える温度差の変動回数 (回)	$N_4$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)
$\Delta T_R$	$T_4$	$N_4$	$S_{4a}$
[Redacted]			
2点間の平均温度における縦弾性係数の値 (MPa)	2点間の平均温度における瞬時熱膨張係数の値 ( $\times 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$ )	$10^6$ を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	温度差変動の全振幅 (°C)
$E_4$	$\alpha$	$S_2$	$T_{4'}$
[Redacted]			

## (e) JSME PVB-3140 (5) の計算結果

原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討の必要はない。

## (f) JSME PVB-3140 (6) の計算結果

機械的荷重により生じる応力の全振幅 (MPa)	荷重変動回数を許容繰返し回数とした場合に、 これに対応する繰返しピーク応力強さの値 (MPa)	設計外力の繰返し回数 (回)
$\Delta \sigma$	$S_6$	$N_6$
[Redacted]		

## スリーブの強度計算結果 (19/19)

## (17) 疲労解析除外規定確認結果 (スリーブ取付部)

PVB-3140	対象となる荷重条件	検討項目	確認結果	許容値
(1)	大気圧→運転圧力→大気圧	繰返し回数	[ ]	1,661回
(2)	a. 運転時の圧力変動	圧力変動の全振幅		0.047MPa
	b. 上記a.のうち許容値を超える圧力変動	圧力変動の全振幅		1.153MPa
(3)	起動→定常運転→停止での温度差	2点間の温度差		200℃
(4)	運転時の温度変動	2点間の温度差の 変動の全振幅		391℃
	a. 異種材接合部の温度変動	原子炉格納容器貫通部スリーブにおいては、縦弾性係数又は熱膨 張係数の異なる材料は使用していないので本規定の検討は不要		
(5)	b. 上記a.のうち許容値を超える温度変動			
(6)	機械的荷重の変動	応力の全振幅	[ ]	689MPa

評価：規定はすべて満足されており、疲労解析を要しない。

資料6-3-2 重大事故等クラス2容器（原子炉格納容器）の強度計算書

目 次

	頁
1. 電線貫通部 本体および端板の強度計算書 .....	M3-添6-3-2-1
2. 電線貫通部 スリーブの強度計算書 .....	M3-添6-3-2-3

1. 電線貫通部 本体および端板の強度計算書

電線貫通部の強度計算結果

(1) 本体の板厚計算

電線貫通部 形式	評価圧力 (MPa)	評価温度 (°C)	本体内径 (mm)	設計引張強さの 2/3 倍の値 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
	P		$D_i$					
モジュラー型	0.333	138		292	STS480	1.0	0.2	10.3

評価：上記の最小使用厚さは、計算上必要な厚さ以上であるので、強度は十分である。

(2) 端板の板厚計算

電線貫通部 形式	評価圧力 (MPa)	評価温度 (°C)	端板外径 (mm)	設計引張強さの 2/3 倍の値 (MPa)	材 料	継手効率	計算上必要な厚さ (mm)	最小使用厚さ (mm)
	P		d					
モジュラー型	0.333	138		262	SUS304L	K	6.2	52

評価：上記の最小使用厚さは、計算上必要な厚さ以上であるので、強度は十分である。

(3) 供用状態Dにおける応力強さ

電線貫通部 形式	応力 (MPa)	
	一次一般膜応力 $P_m$	一次局部膜応力 $P_l$
モジュラー型	8	1
許容値	262	394
一次膜+一次曲げ応力 $P_l+P_b$		11
許容値		394

評価： いずれも応力強さの限界を満足している。



2. 電線貫通部 スリーブの強度計算書

FORMAT-2 電線貫通部 スリーブ

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (1/14)

(1) 諸元

重大事故等時 における使用 時の圧力 (MPa)	水頭圧 (MPa)	重大事故等時 における使用 時の温度 (°C)	スリーブ本体			スリーブ取付部		
			外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	胴板心 直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	材料
$P_1$	$P_2$		$D_1$	$T_1$		$D$	$t$	
0.305	0.028	138			ASTM A333 Gr. 6 (GSTPL相当)			SGV49 (SGV480)

(2) 設計外力

評価点	荷重作用点の距離 (mm)	電線貫通部本体等からの反力			設計外力	
		$f_x$ (N)	$f_y$ (N)	$F_x$ (N)	$M_z'$ ( $\times 10^3 \text{N} \cdot \text{mm}$ )	
$L_i, L_o$	510	0	2,311	0	1,179	
$S_i, S_o$	510	0	2,311	0	1,179	

貫通部番号 555,561

スリーブの強度計算結果 (2/14)

(3) 重大事故等時における使用時の圧力による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)			
	軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$		板厚方向応力 $\sigma_z$
L <sub>i</sub>	一次一般 膜応力 $\frac{P_1 \cdot R_m}{2T_1}$	一次一般 膜応力 $\frac{P_1 \cdot R_m}{T_1}$	一次局部 膜応力 $\frac{E \cdot \omega_{s1}}{R_m}$	一次一般 膜応力 $-P_1, 0$
	合計	合計		
L <sub>o</sub>				

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (3/14)

(4) 水頭圧による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)		
	軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
L <sub>i</sub>	一次一般 膜応力 $\frac{P_2 \cdot R_m}{2T_1}$	一次一般 膜応力 $\frac{P_2 \cdot R_m}{T_1}$	一次一般 膜応力 $-P_2, 0$
	合計	合計	
L <sub>o</sub>			

貫通部番号 555,561

スリーブの強度計算結果 (4/14)

(5) 設計外力による応力 (スリーブ本体)

評価点	スリーブ 外径 (mm) D <sub>1</sub>	スリーブ 厚さ (mm) T <sub>1</sub>	断面係数 (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> ) Z	軸方向応力 σ <sub>x</sub>
				一次一般膜応力 (MPa) $\pm \frac{M_z'}{Z}$
L <sub>1</sub> 、L <sub>0</sub>				

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (5/14)

(6) SA条件の荷重による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)											
	重大事故等時における使用時の圧力 による応力			水頭圧による応力			設計外力による応力					
	(イ) 一次一般膜応力		(ロ) 一次局部膜応力	(ハ) 一次一般膜応力		(ニ) 一次局部膜応力	(ホ) 一次一般膜応力					
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>												
L <sub>o</sub>												

貫通部番号 555.561

スリーブの強度計算結果 (6/14)

(7) SA条件による応力 (スリーブ本体)

評価点	応力 (MPa)								
	一次一般膜応力 (イ+ハ+ホ)			一次局部膜応力 (ロ+ニ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ+ニ+ホ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
L <sub>i</sub>	[Empty Box]								
L <sub>o</sub>									

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (7/14)

(8) 評価結果 (スリーブ本体)

評価点	応力強さ (MPa)										
	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜応力 + 一次曲げ応力強さ				
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$
L <sub>i</sub>	[Redacted]										
L <sub>o</sub>											
許容値	2/3 S <sub>u</sub> = 251			1.5 × 2/3 S <sub>u</sub> = 376			1.3 × 2/3 S <sub>u</sub> = 326				
評価: いずれも応力強さの限界を満足している。											



貫通部番号 555.561

スリーブの強度計算結果 (8/14)

(9) 原子炉格納容器自重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	自重 ( $\times 10^3\text{N}$ )	胴板板心 直径 (mm)	胴板厚さ (mm)	軸方向応力 $\sigma_x$
		$W_p$	D	t
S <sub>i</sub> 、S <sub>o</sub>				

貫通部番号 555.561

スリーブの強度計算結果 (9/14)

(10) 重大事故等時における使用時の圧力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)		
			軸方向応力 $\sigma_x$	円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
			一次一般膜応力 $\frac{P_1 \cdot R}{2t}$	一次一般膜応力 $\frac{P_1 \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 $-P_1, 0$
S <sub>i</sub>					
S <sub>o</sub>					

貫通部番号 555.561

スリーブの強度計算結果 (10/14)


(11) 水頭圧による応力 (スリーブ取付部)

評価点	胴板 板心 半径 (mm)	胴板 厚さ (mm)	応力 (MPa)	
			円周方向応力 $\sigma_y$	板厚方向応力 $\sigma_z$
			一次一般膜応力 $\frac{P_2 \cdot R}{t}$	一次一般膜応力 $-P_2, 0$
S <sub>i</sub>				
S <sub>o</sub>				

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (11/14)

(12) 設計外力による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)	
	$\sigma_x$	$\sigma_y$
$S_i$		
$S_o$		

(注)  $\sigma_z=0$

貫通部番号 555, 561

スリーブの強度計算結果 (12/14)

(13) SA条件の荷重による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)													
	自重による応力			重大事故等時における 使用時の圧力による応力			水頭圧による応力			設計外力による応力				
	(イ) 一次一般膜応力	(ロ) 一次一般膜応力	(ハ) 一次一般膜応力	(イ) 一次一般膜応力	(ロ) 一次一般膜応力	(ハ) 一次一般膜応力	(イ) 一次一般膜応力	(ロ) 一次一般膜応力	(ハ) 一次一般膜応力	(イ) 一次一般膜応力	(ロ) 一次一般膜応力	(ハ) 一次一般膜応力		
$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>														
S <sub>o</sub>														

貫通部番号 555,561

スリーブの強度計算結果 (13/14)

(14) SA条件による応力 (スリーブ取付部)

評価点	応力 (MPa)								
	一次一般膜応力 (イ+ロ+ハ)			一次局部膜応力 (ニ)			一次膜応力+一次曲げ応力 (イ+ロ+ハ+ニ)		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
S <sub>i</sub>									
S <sub>o</sub>									

貫通部番号 555,561

スリーブの強度計算結果 (14/14)

(15) 評価結果 (スリーブ取付部)

評価点	応力強さ (MPa)					
	一次一般膜応力強さ		一次局部膜応力強さ		一次膜応力+ 一次曲げ応力強さ	
	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
$S_i$						
$S_o$						
許容値	$2/3 S_u = 283$		$1.5 \times 2/3 S_u = 424$		$1.5 \times 2/3 S_u = 424$	
評価：いずれも応力強さの限界を満足している。						

計算機プログラム（解析コード）の概要



# 目 次

	頁
1. はじめに .....	M3-添6-別紙-1
2. 解析コードの概要 .....	M3-添6-別紙-2
2.1 MSC NASTRAN Ver.2008.0.4 .....	M3-添6-別紙-2
2.2 MSC NASTRAN Ver.2005r3b .....	M3-添6-別紙-4

1. はじめに

本資料は、「強度に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4

#### 2.1.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4の概要

対象：原子炉格納容器 電線貫通部 端板

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
使用目的	3次元有限要素法（3次元ソリッドモデル）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国MSC Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Swendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Swendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>MSC NASTRAN Ver2008. 0. 4 は汎用市販コードであり、今回の解析は、電線貫通部の3次元有限要素法（3次元ソリッドモデル）による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる簡素な体系について、理論モデルによる理論解と解析解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul>

**【妥当性確認(Validation)】**

本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。

- 本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 本工事計画で行う解析と類似するものとして、「泊3号機 第4回工認 電線貫通部の強度計算書」で実施した、端板リガメント部の応力解析の事例がある。
- 既工認における解析結果との比較として、「泊3号機 第4回工認 電線貫通部の強度計算書」におけるMSC NASTRAN Ver. 2001を用いた端板リガメント部の応力解析をMSC NASTRAN Ver. 2008.0.4で実施し、同じ解が得られることを確認している。
- 本工事計画で行う3次元有限要素法(3次元ソリッドモデル)による応力解析の用途、適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。

## 2.2 MSC NASTRAN Ver.2005r3b

### 2.2.1 MSC NASTRAN Ver.2005r3bの概要

対象：原子炉格納容器 電線貫通部 スリーブ

項目	コード名
	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2005r3b
使用目的	3次元有限要素法（3次元シェル）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国MSC Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウエンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNastran（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>MSC NASTRAN Ver. 2005r3bは、原子炉格納容器電線貫通部スリーブ（スリーブ取付部）の3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> </ul>

本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

**【妥当性確認(Validation)】**

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 本工事計画で行う解析と類似する容器の応力解析の事例が、開発機関のホームページに掲載されている。
- 開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（3次元シェル）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- 検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- 本工事計画において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- 本工事計画で行う3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲であることを確認している。

資料7 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書

# 目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添7-1
2. 基本方針 .....	M3-添7-1
2.1 設計基準事故時における基本方針 .....	M3-添7-1
2.2 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における基本方針 .....	M3-添7-1
3. 設計条件 .....	M3-添7-1
3.1 原子炉格納容器の設計基準事故時における設計条件 .....	M3-添7-2
3.2 原子炉格納容器の重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における設計条件 .....	M3-添7-2
4. 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価及びその他影響確認 .....	M3-添7-2
4.1 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価 .....	M3-添7-2
4.1.1 評価方針 .....	M3-添7-2
4.1.2 評価対象部位及び評価対象部位における機能喪失要因 .....	M3-添7-3
4.1.3 評価方法 .....	M3-添7-4
4.1.4 評価結果 .....	M3-添7-5
4.2 その他原子炉格納容器評価温度、圧力に対する影響確認 .....	M3-添7-6
4.2.1 確認内容 .....	M3-添7-6
4.2.2 確認結果 .....	M3-添7-6

別添-1 原子炉格納容器 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の閉じ込め機能健全性について

別紙-1 原子炉格納容器 評価温度、圧力の評価における経年劣化の影響について

別紙-2 原子炉格納容器 評価温度、圧力負荷後の耐震性の影響について

別紙-3 計算機プログラム（解析コード）の概要



## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第44条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）の要求に対する原子炉格納施設の設計基準事故時の設計条件について記載したものであり、最高使用圧力、最高使用温度、設計漏えい率、最低使用温度、使用材料（原子炉格納容器本体の脆性破壊防止含む）、耐圧試験圧力、許容外圧並びに開口部、配管貫通部、電線貫通部、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器体積、原子炉格納容器熱除去装置、真空逃がし装置及び放射性物質の濃度低減設備の設計について説明する資料である。また、技術基準規則第62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71及び74条並びにそれらの解釈の要求に対する適合性について説明するとともに、重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価についても説明する。

今回取替を実施する電線貫通部の評価方針、評価方法、評価結果の詳細については、別添-1「原子炉格納容器 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の閉じ込め機能健全性について」にて説明する。

なお、今回変更を実施しない設備については、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び令和元年6月21日付け原規規発第1906219号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」による。

## 2. 基本方針

原子炉格納施設は、1次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障の際に漏えいする放射性物質が公衆に放射線障害を及ぼすおそれがない設計とする。

### 2.1 設計基準事故時における基本方針

設計基準事故時における基本方針については、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の2.1項による。

### 2.2 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における基本方針

重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における基本方針については、令和元年6月21日付け原規規発第1906219号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の2.2項による。

## 3. 設計条件

原子炉格納容器の設計条件としては設計基準事故時における設計条件と、重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における設計条件に分類し、項目ごとに説明する。

### 3.1 原子炉格納容器の設計基準事故時における設計条件

原子炉格納容器の設計基準事故時における設計条件については、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1項による。

### 3.2 原子炉格納容器の重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における設計条件

原子炉格納容器の重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における設計条件については、令和元年6月21日付け原規規発第1906219号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.2項によるものとする。

## 4. 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価及びその他影響確認

重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の評価温度、評価圧力に対して原子炉格納容器の構造健全性及び機能維持について評価する。また、経年劣化による影響や重大事故等時の環境が負荷された後の耐震性の影響について確認する。

### 4.1 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）における原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能評価

#### 4.1.1 評価方針

平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.2.1項で設定した重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の原子炉格納容器の評価温度（200℃）、評価圧力（2Pd）を用いて、その環境下での原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能について評価部位ごとに評価することにより、その機能が損なわれることがないことを確認する。

原子炉格納容器の放射性物質の閉じ込め機能を確認するため、200℃、2Pdの環境下で原子炉格納容器本体並びに機器搬入口、エアロック、配管貫通部、電線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁のリークパスとなる可能性のある部位に対して、規格を用いた構造健全性評価にて原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能について確認する。

さらに、福島第一原子力発電所での事故において、原子炉格納容器からの漏えい要因の一つとして指摘されている原子炉格納容器に設置されるフランジ部等のシール部についても評価部位として抽出し、試験結果を用いた機能維持評価により原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能について確認する。

#### 4.1.2 評価対象部位及び評価対象部位における機能喪失要因

原子炉格納容器バウンダリを構成する機器から、以下のとおり評価対象部位を抽出し、評価部位ごとに放射性物質の閉じ込め機能喪失要因（以下「機能喪失要因」という。）を抽出する。

評価対象部位として、200℃、2Pdの環境下で原子炉格納容器の放射性物質の閉じ込め機能が損なわれないよう原子炉格納容器本体について強度評価する。

また、機器搬入口、エアロック、配管貫通部、電線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁については、構造上原子炉格納容器の変位荷重等の影響によりリークパスになる可能性があるため、評価対象部位として抽出する。機器搬入口及びエアロックのシール部についても、ガスケットの劣化及びシート部の変形に伴いリークパスになる可能性があるため評価対象部位とする。

原子炉格納容器の機能喪失要因としては脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられるため、これらの破損モードの中から原子炉格納容器内の環境条件等を考慮し、評価対象ごとに想定される機能喪失要因を抽出する。機能喪失要因の詳細な抽出内容については別添-1「原子炉格納容器重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の閉じ込め機能健全性について」の評価対象ごとの「評価方針」の項にて説明する。なお、今回変更を実施しない設備については、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の別添-1「原子炉格納容器 重大事故等時の閉じ込め機能健全性について」による。

原子炉格納容器バウンダリ構成部である評価対象部位及び評価対象ごとに想定される機能喪失要因を以下に示す。

##### ①原子炉格納容器本体（一般部、局部）

延性破壊

##### ②機器搬入口

延性破壊、座屈（構造部）、変形、高温劣化（シール部）

##### ③エアロック

延性破壊（構造部）、変形、高温劣化（シール部）

##### ④配管貫通部

###### ・固定式配管貫通部

###### ・貫通配管

延性破壊

###### ・スリーブ

延性破壊

###### ・端板

延性破壊

###### ・閉止フランジ

延性破壊（フランジ）、シール能力不足（ガスケット）

- ・閉止板

延性破壊

- ・伸縮式配管貫通部

- ・貫通配管

延性破壊

- ・スリーブ

延性破壊

- ・端板

延性破壊

- ・伸縮継手

疲労破壊

- ・短管

延性破壊

#### ⑤電線貫通部

- ・キャニスター型電線貫通部

ロウ付け部の損傷（導体貫通部）

延性破壊（構造部）

- ・モジュラー型電線貫通部

付着力低下（エポキシ樹脂）

変形（Oリング）

延性破壊（構造部）

#### ⑥原子炉格納容器隔離弁

変形（構造部（弁箱、弁体）、ゴム系シール材）

### 4.1.3 評価方法

原子炉格納容器本体、機器搬入口、エアロック、配管貫通部、電線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁における放射性物質の閉じ込め機能の評価については、規格を用いた構造健全性評価と、電力共同研究（以下「電共研」という。）等での試験結果を用いた機能維持評価に分類して評価を行う。そのうち、規格を用いた構造健全性評価については、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JISME S NC1-2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）又は既工事計画認可申請書等に準拠した評価若しくは設計・建設規格の準用等による評価を行う。原子炉格納容器の放射性物質の閉じ込め機能の評価については上記の3分類の評価方法により評価する。なお、設計・建設規格の準用等による評価は、設計・建設規格式の応用、フランジ等の呼び圧力により標準化された設計<sup>注</sup>

りの適用又はAmerican Society of Mechanical Engineers (ASME) 規格の適用等といった評価がある。

設計・建設規格又は既工事計画認可申請書等に準拠した評価は、既工事計画認可申請書等と同様の手法による評価が可能な部位や、設計・建設規格等の規格に準拠した評価が可能な部位に対して実施する。また、既工事計画認可申請書の手法と異なる評価を行う部位や、設計・建設規格の規格式を応用して算定する部位、保守的に判定基準を設定して評価する部位等については、設計・建設規格の準用等による評価を行う。

また、機器搬入口、エアロック、電線貫通部、ゴムダイヤフラム弁及び真空逃がし弁のシール部並びに空調用バタフライ弁の漏えいの有無については、電共研等での試験結果による機能維持の確認を行う。

各評価対象部位に対して上記のいずれかの方法により構造健全性又は機能維持の評価を行い、200℃、2Pdの環境下での健全性及び機能維持を確認する。

各評価対象機器の評価方法の分類を第1図に、各評価対象機器の詳細な評価方法を第1表に示す。

(注1) フランジ等の呼び圧力ごとに流体の温度と、その温度における許容圧力を材料ごとに定めたもの。

#### 4.1.4 評価結果

原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器に設置されている開口部（機器搬入口、エアロック）については、有限要素法による応力評価、若しくは設計・建設規格又は機械工学便覧等の規格式による応力評価を行い、判定値を満足することにより200℃、2Pdの環境下での構造健全性を確認した。

原子炉格納容器貫通部（配管貫通部、電線貫通部）及び原子炉格納容器隔離弁については、設計・建設規格又は既工事計画認可申請書等で用いられる評価式により評価を行い、判定値を満足することにより200℃、2Pdの環境下での構造健全性を確認した。

また、機器搬入口、エアロック、電線貫通部、ゴムダイヤフラム弁及び真空逃がし弁のシール部並びに空調用バタフライ弁については電共研等での試験結果を基に評価を行い、200℃、2Pdの環境下での機能維持が可能であることを確認した。なお、評価対象部位ごとの評価結果のまとめを第2表に、評価対象部位ごとの詳細な評価方法及び評価結果を別添-1「原子炉格納容器 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の閉じ込め機能健全性について」に示す。なお、今回変更を実施しない設備については、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の別添-1「原子炉格納容器 重大事故等時の閉じ込め機能健全性について」による。

美浜発電所3号機の原子炉格納容器型式である鋼製格納容器は、半球部、円筒部が厚板の鋼板で構成された構造であり、鋼板で気密性能及び耐圧性能を担保する構造である。重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の温度及び圧力を超える環境（200℃、2Pd）において、配管貫通部等も含

め一部が僅かに塑性状態となるが、弾性的挙動の範囲内であり、これまでと同様高い気密性維持が可能であることを確認した。

#### 4.2 その他原子炉格納容器評価温度、圧力に対する影響確認

原子炉格納容器の評価温度、圧力における評価に対して影響を及ぼす可能性のある設備の経年劣化、評価温度、圧力が負荷された後の耐震性について影響を確認する。

##### 4.2.1 確認内容

原子炉格納容器の放射性物質の閉じ込め機能の評価に対して、影響を及ぼす可能性のある対象機器の経年劣化、評価温度、圧力負荷後の耐震性への影響等以下の内容について影響を確認する。

##### (1) 経年劣化の影響

原子炉格納容器評価温度、圧力（200℃、2Pd）時の放射性物質の閉じ込め機能の健全性が、経年劣化により低下していないことを確認する。確認方法及び確認結果の詳細は別添-1の別紙-1に示す。

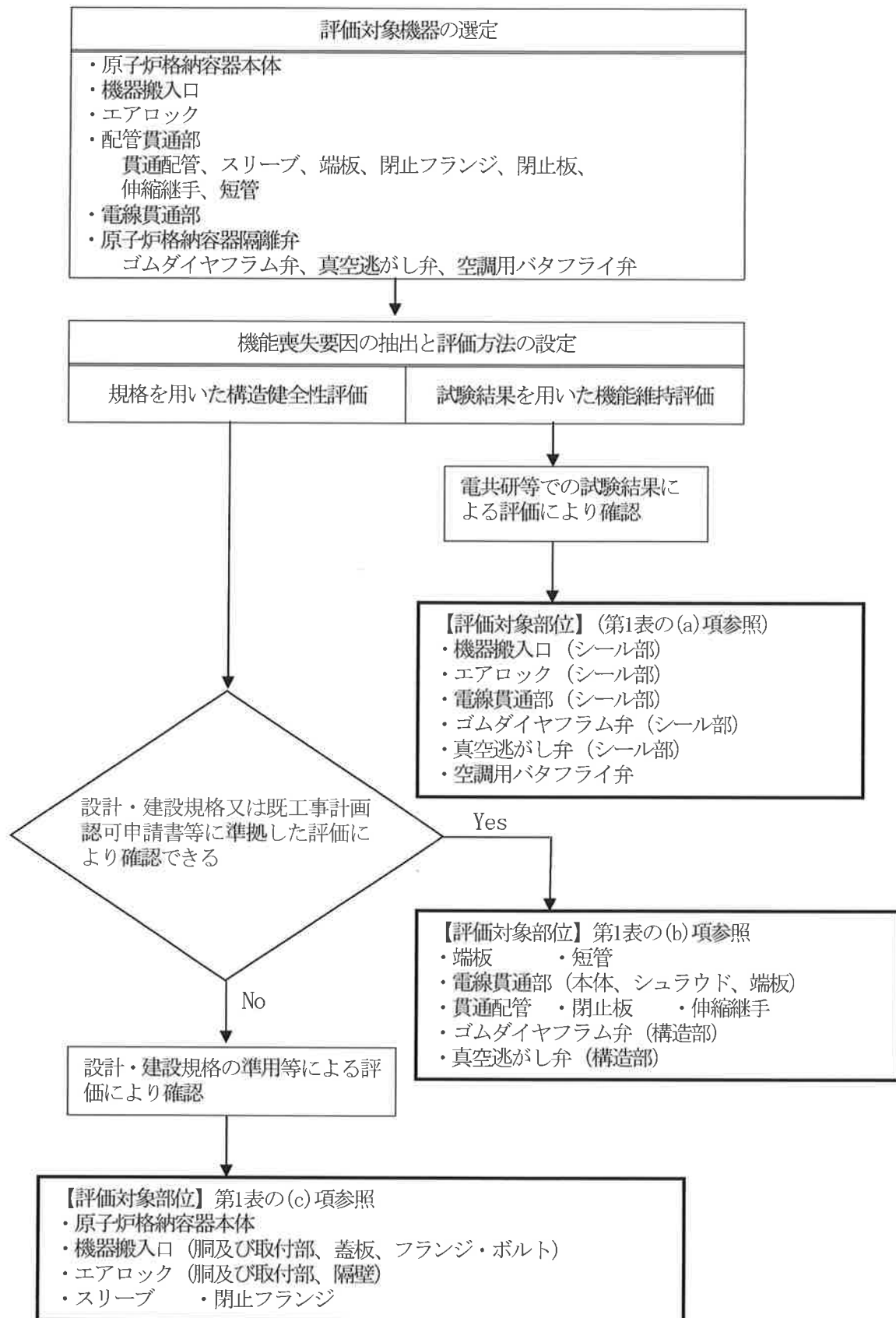
##### (2) 評価温度、圧力負荷後の耐震性への影響

原子炉格納容器が評価温度、圧力（200℃、2Pd）が負荷された後の耐震性の影響について確認する。確認方法及び確認結果の詳細は別添-1の別紙-2に示す。

##### 4.2.2 確認結果

(1) 原子炉格納容器の閉じ込め機能を有する箇所における経年劣化の対策についても確認し、原子炉格納容器の評価温度、圧力への影響はないことを確認した。

(2) 重大事故等時の温度、圧力を超える評価温度、圧力（200℃、2Pd）が負荷された後の耐震性の影響については、評価温度、圧力の環境で一部の箇所において小さな残留ひずみが生じるが、発生応力に与える影響はない。地震の許容応力は、放射性物質の閉じ込め機能の確認にて考慮した許容応力の制限内であり、さらに評価温度・圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性に影響はないことを確認した。



第1図 評価方法による評価対象機器の分類

第1表 評価対象機器の分類及び評価内容

評価に用いた手法	評価対象機器	想定される機能喪失要因	評価方法の概要	判定基準
(a) 電共研等での試験結果による評価	機器搬入口(シール部)	変形、高温劣化	シール部の隙間評価結果及びガスケットについて試験結果に基づき評価を実施	漏えいなし
	エアロック(シール部)	変形、高温劣化	シール部の隙間評価結果及びガスケットについて試験結果に基づき評価を実施	漏えいなし
	電線貫通部(シール部)	①ロウ付け部の損傷 ②エポキシ樹脂付着力低下 ③Oリング変形	実機を模擬した検診試験により評価	漏えいなし
	ゴムダイヤフラム弁(シール部)	変形	EPゴムの材料加速試験結果に基づいて健全性を確認。また、空調用バタフライ弁の蒸気漏えい試験により確認	漏えいなし
	真空逃がし弁(シール部)	変形	EPゴムの材料加速試験結果に基づいて健全性を確認。また、空調用バタフライ弁の蒸気漏えい試験により確認	漏えいなし
	空調用バタフライ弁	変形	蒸気漏えい試験により評価	漏えいなし
(b) 設計・建設規格又は既工事計画認可申請書等に準拠した評価	貫通配管	延性破壊	代表配管について、重大事故時の原子炉格納容器の変位及び貫通配管の熱変位に伴う曲げ荷重の作用による強度評価を、設計・建設規格 PPC-3530、PPB-3531又はPPB-3536に準拠し、既工事計画認可申請書で実績のある手法で評価を実施	PPC-3530又はPPB-3531の許容値を満足する。又は、PPB-3536に基づく繰返しピーク応力強さの許容値を満足する。
	端板	延性破壊	代表配管からの荷重及び原子炉格納容器内圧が作用した際の応力評価について、既工事計画認可申請書で実績のある評価式を用いて応力を算定	PVB-3112の許容値(3S)を満足する
	閉止板	延性破壊	代表閉止板について既工事計画認可申請書で実績のある設計・建設規格のPVE-3410に準拠し、200℃、2Pdに対する必要板厚を算定	設計上の厚さが必要板厚を上回る
	伸縮継手	疲労破壊	代表伸縮継手について原子炉格納容器内圧及び原子炉格納容器変位による強制変位が作用した際の疲労累積係数の評価を、既工事計画認可申請書で実績のある設計・建設規格PVE-3800に準拠して実施	疲労累積係数1以下となる
	短管	延性破壊	代表短管に内圧が作用した際、必要な板厚を、既工事計画認可申請書で実績のある設計・建設規格PVE-3230に準拠して、必要板厚を算定	設計上の厚さが必要板厚を上回る
	電線貫通部(構造部)	延性破壊	・キャニスター型 ①構造部(本体、シュラウド及び端板)について、設計・建設規格PVE-3230、3410に準拠し、必要板厚を算定 ・モジュラー型 ①構造部(本体及び端板)について、設計・建設規格PVE-3230及び3410に準拠し、必要板厚を算定。 ②端板のリガメント部に発生する応力について、設計・建設規格PVE-3270に準拠し、FEMによる応力解析を実施。	設計上の厚さが必要板厚を上回る
	ゴムダイヤフラム弁	変形	ゴムダイヤフラム弁の強度評価を、設計・建設規格に規定されている許容圧力をもとに評価を実施	2Pdが200℃における許容圧力以下
真空逃がし弁	変形	①隔離機能については、設計・建設規格に準拠した手法で評価実施 ②耐圧機能は設計・建設規格に規定されている許容圧力を基に評価を実施	①隔離機能：弁体の発生応力が、1.5S以下 ②耐圧機能：2Pdが200℃における許容圧力以下	
(c) 設計・建設規格の準用等による評価	原子炉格納容器	延性破壊	①原子炉格納容器の一般部について、設計・建設規格の評価式PVE-3230、3323を準用し、発生応力が半断基準である200℃における2/3Su以下であることを確認(簡易手法)。 ②原子炉格納容器の局部について、他機器の工認強度評価等で実績のある有限要素法による応力評価を行い、発生応力が半断基準である200℃における設計引張強さ(Su)以下であることを確認	①発生応力が許容応力以下 ②原子炉格納容器本体に発生する応力がSu(設計引張強さ)以下 <sup>(注)</sup>
	機器搬入口	①延性破壊 ②座屈(蓋) ③延性破壊(フランジ・ボルト)	①胴及び取付部の評価について原子炉格納容器本体の評価において同時に実施(他機器の工認強度評価等で実績のある有限要素法による評価) ②蓋板の座屈について機械工学便覧の球殻の座屈評価式に基づき許容座屈圧力を算定し、2Pd以上であることを確認 ③フランジ及びボルトについて、他機器の工認強度評価等で実績のある有限要素法による応力評価を行い、発生応力が半断基準である200℃における設計引張強さ(Su)以下であることを確認	①胴及び取付部に発生する応力がSu(設計引張強さ)以下 <sup>(注)</sup> ②蓋板において許容圧力が2Pdを上回る ③フランジ及びボルトに発生する応力がSu(設計引張強さ)以下 <sup>(注)</sup>
	エアロック	延性破壊	①胴及び取付部の評価について原子炉格納容器本体の評価において同時に実施(他機器の工認強度評価等で実績のある有限要素法による評価) ②既工事計画認可申請書の評価結果のうち最も厳しい隔壁の耐圧性能について、応力は圧力に比例することから、当該評価結果を使用して許容応力値が発生する時の圧力を算定	①胴及び取付部に発生する応力がSu(設計引張強さ)以下 <sup>(注)</sup> ②隔壁の $\alpha$ (形状係数) $\times 2/3Su$ 相当の許容応力値が発生する時の圧力が2Pdを上回る
	スリーブ	延性破壊	代表スリーブについて原子炉格納容器内圧及び配管からの荷重による応力(一次一般応力、一次+二次応力)を既工事計画認可申請書で評価実績のある方法で応力を算定し、許容値は設計・建設規格に準拠し、発生応力が半断基準である200℃における2/3Su、 $\alpha \times 2/3Su$ 以下であることを確認。なお、一次+二次応力が上記許容値を満足しない場合は、PVB-3300に基づく繰返しピーク応力強さが許容値を満足することを確認。	発生応力が200℃における左記許容値を満足する。
	閉止フランジ	①延性破壊(フランジ) ②シール能力不足(ガスケット)	①呼び圧力により標準化されたレーティング設計(150LB(1.03MPa))の耐圧能力を確認 ②シールするために必要な締付圧力により必要圧縮量の評価を実施 ガスケットに対する放射線の影響及び熱劣化の評価を実施	①レーティング設計の耐圧能力が2Pdを上回る ②管理圧縮量が必要圧縮量を上回る 材質の放射線劣化及び耐温度

(注) 設計・建設規格の供用状態Dを準用



第2表 構造健全性評価結果まとめ

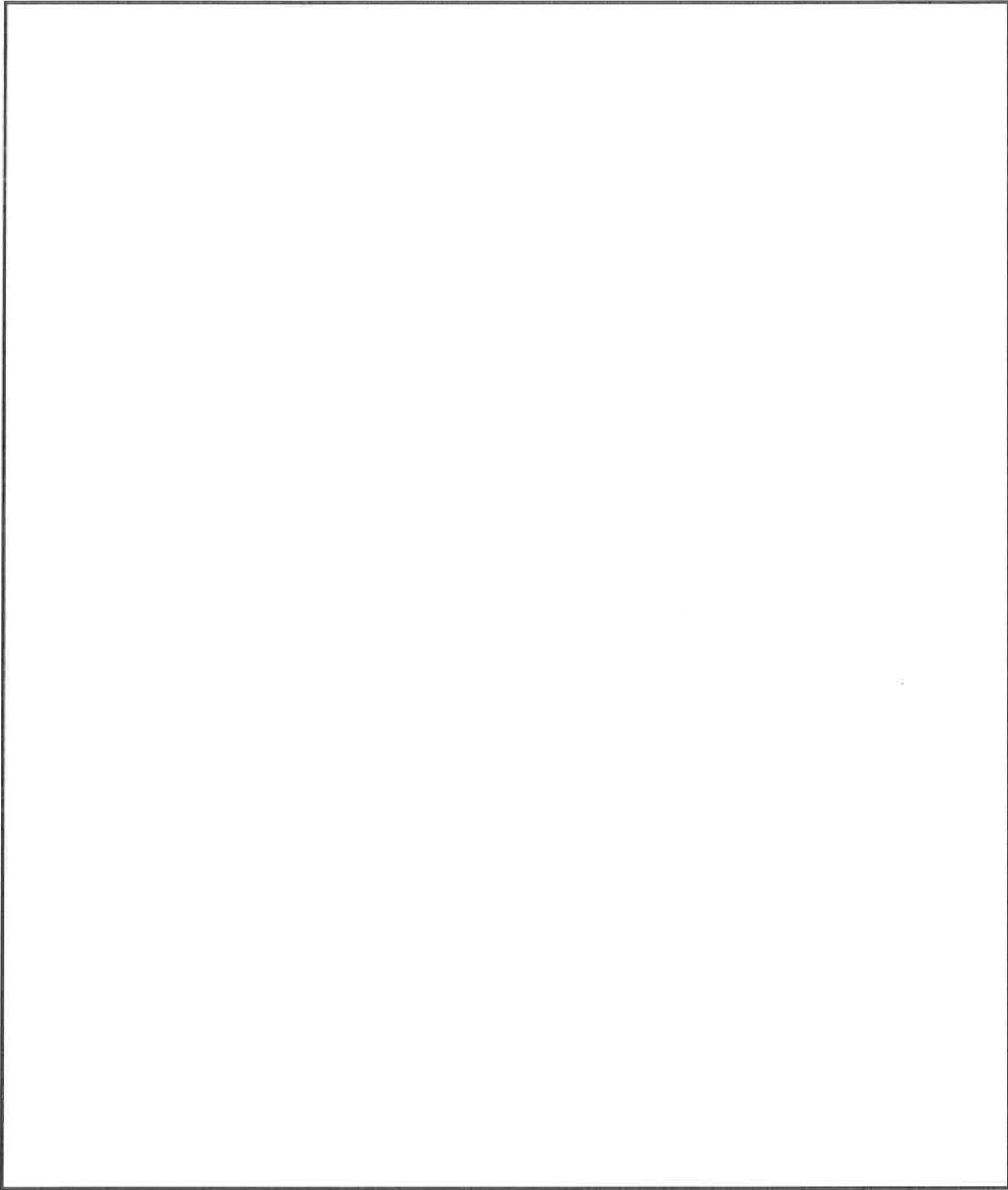
評価部位	評価点	評価式	評価条件	評価値 <sup>(注1)</sup>	判定値	評価結果
原子炉 格納容器本体	円筒部	円筒部：PVE-3230 半球部：PVE-3323	200°C 2Pd	一般部：265MPa (一次応力) 局部：263MPa (一次+二次応力)	一般部：281MPa以下 (2/3Su) 局部：422MPa以下 (Su)	破断せず
	半球部	局 部：有限要素法				
機器搬入口	本体、フランジ部	有限要素法	200°C 2Pd	314 MPa (一次+二次応力)	422 MPa以下 (Su)	破断せず/ シール機能維持 <sup>(注2)</sup>
	蓋板	機械工学便覧	200°C	1.79 MPa [gage] (許容圧力)	0.522 MPa [gage]以上 (2Pd)	
エアロック	隔壁部	工認手法	200°C	0.94 MPa [gage] (許容圧力)	0.522 MPa [gage]以上 (2Pd)	破断せず/ シール機能維持 <sup>(注2)</sup>
貫通配管	同左 (貫通部付近)	PPB-3536	200°C 2Pd	1269 MPa (繰返しピーク応力強さ)	4881 MPa 以下	破断せず
スリーブ	スリーブ 取付部	工認手法	200°C 2Pd	265 MPa (一次応力)	281 MPa以下 (2/3Su)	破断せず
端板	配管取付部	工認手法	200°C 2Pd	279 MPa (一次+二次応力)	393 MPa以下 (3S)	破断せず
閉止フランジ	同左	標準化された設計	200°C	1.03 MPa [gage] <sup>(注3)</sup>	0.522 MPa [gage]以上 (2Pd)	破断せず/ シール機能維持 <sup>(注4)</sup>
閉止板	同左	PVE-3410	200°C 2Pd	$\frac{\square}{\text{mm}}$ (実物厚さ)	20.8 mm 以上 (設計基準上必要板厚)	破断せず
伸縮継手	同左	工認手法及び PVE-3800	200°C 2Pd	0.00605 (疲労累積係数)	1以下	破断せず
短管	同左	PVE-3230	200°C 2Pd	$\frac{\square}{\text{mm}}$ (実物厚さ)	2.1 mm 以上 (設計基準上必要板厚)	破断せず
電線貫通部	端板	PVE-3410	200°C 2Pd	$\frac{\square}{\text{mm}}$ (実物厚さ)	9.5 mm 以上 (設計基準上必要板厚)	破断せず
原子炉 格納容器隔離弁	弁箱	標準化された設計	200°C	1.40 MPa [gage] <sup>(注3)</sup>	0.522 MPa [gage]以上 (2Pd)	破断せず/ シール機能維持

(注1) 複数評価している項目は判定値に最も厳しい値を記載

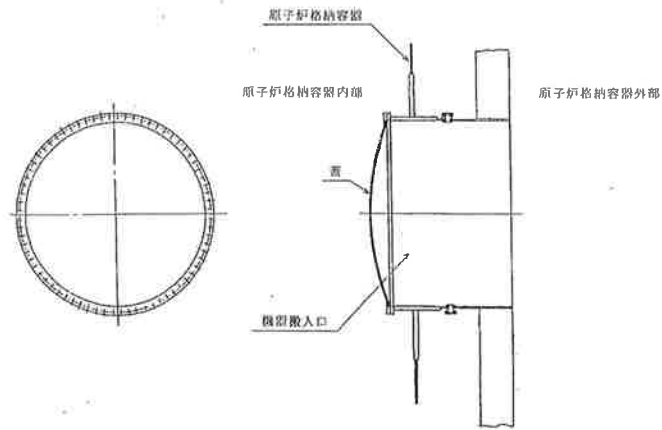
(注2) フランジ隙間許容値以下を確認

(注3) 呼び圧力により標準化された設計による200°Cでの許容圧力

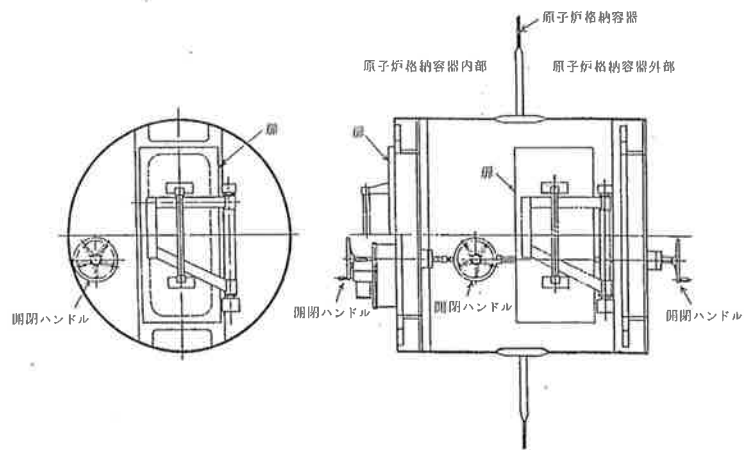
(注4) ガasket必要圧縮量以上を確認



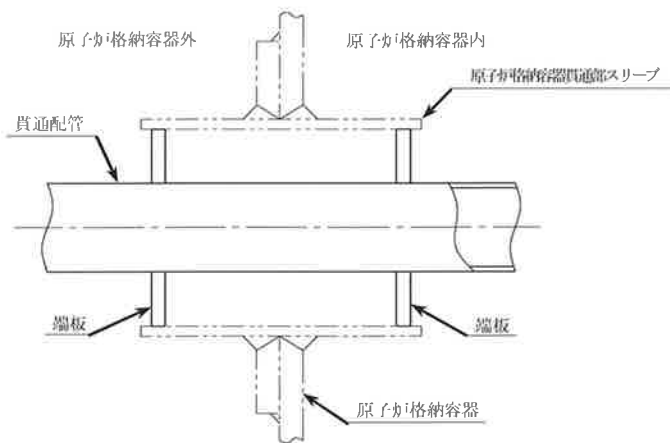
第2図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (1/4)



機器搬入口

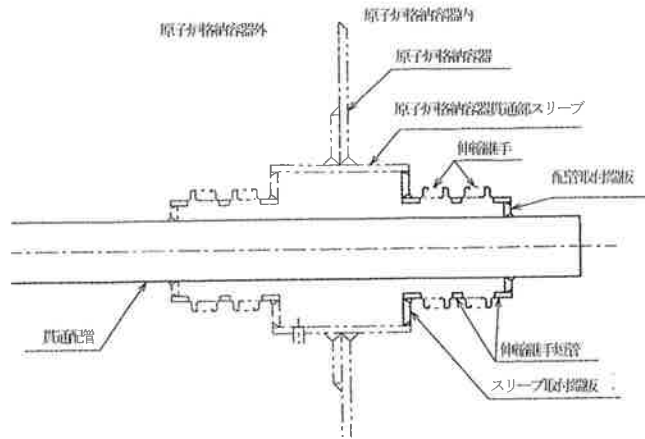


エアロック

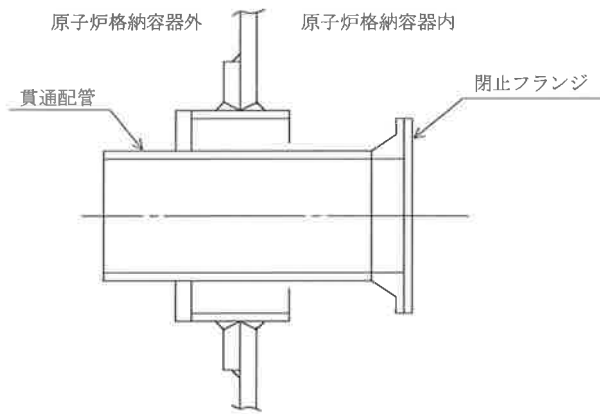


固定式配管貫通部

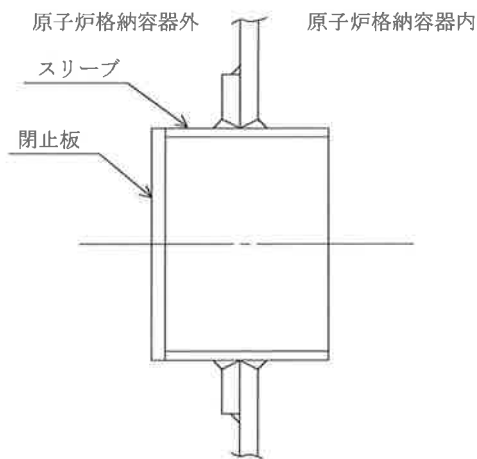
第2図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (2/4)



伸縮式配管貫通部



閉止フランジ

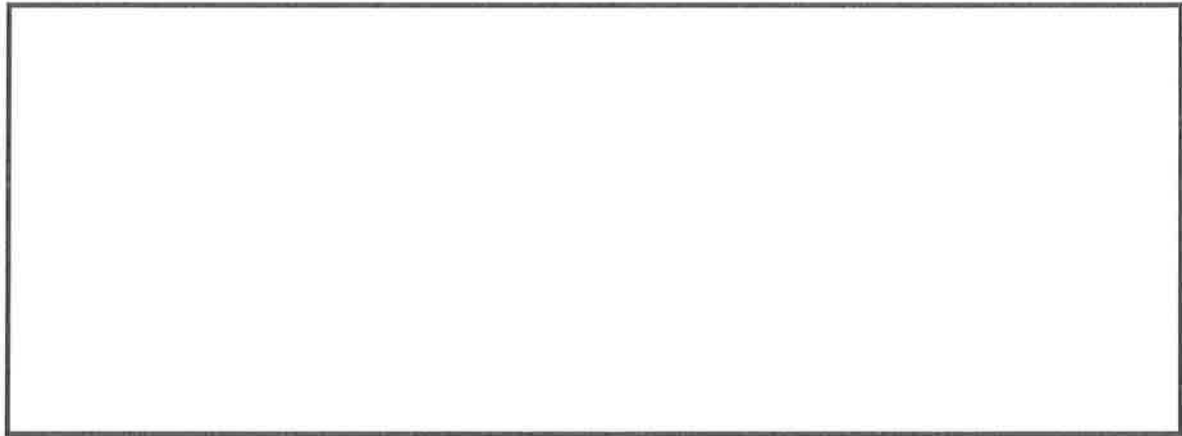


閉止板

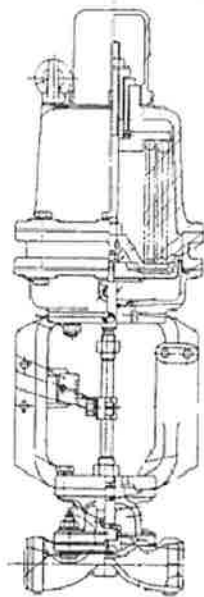
第2図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (3/4)



電線貫通部 (キャニスター型)



電線貫通部 (モジュラー型)



原子炉格納容器隔離弁

第2図 原子炉格納容器バウンダリ構成部概要図 (4/4)

原子炉格納容器 重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の閉じ込め機能健全性について

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-別添1-1
2. 電線貫通部 .....	M3-別添1-2
2.1 評価方針 .....	M3-別添1-2
2.2 評価方法 .....	M3-別添1-3
2.3 評価結果 .....	M3-別添1-9
3. 電線貫通部 スリーブ .....	M3-別添1-13
3.1 評価方針 .....	M3-別添1-13
3.2 評価方法 .....	M3-別添1-13
3.2.1 スリーブ本体 .....	M3-別添1-16
3.2.2 スリーブ取付部 .....	M3-別添1-24
3.3 評価結果 .....	M3-別添1-30
3.3.1 スリーブ本体 .....	M3-別添1-30
3.3.2 スリーブ取付部 .....	M3-別添1-30

別紙-1 原子炉格納容器 評価温度、圧力の評価における経年劣化の影響について

別紙-2 原子炉格納容器 評価温度、圧力負荷後の耐震性の影響について

別紙-3 計算機プログラム（解析コード）の概要

## 1. 概要

重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の原子炉格納容器の最高温度、最高圧力は、設計基準事故時における最高使用圧力、最高使用温度を超えることから原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能の確認を行う。重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の原子炉格納容器の評価温度、評価圧力については、重大事故等時（特定重大事故等時を除く。）の最高温度、最高圧力を上回るよう評価温度 $200^{\circ}\text{C}$ 、評価圧力 $2\text{Pd}$ （ $0.522\text{MPa}[\text{gage}]$ ）を設定し、原子炉格納容器本体、機器搬入口、エアロック、配管貫通部、電線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁の構造健全性並びにフランジ等のシール部の機能維持を確認する。

本資料では、今回取替を実施する電線貫通部の評価方針、評価方法、評価結果について説明する。

また、あわせて経年劣化による影響や重大事故等の環境が負荷された後の耐震性の影響について説明する。



## 2. 電線貫通部

### 2.1 評価方針

原子炉格納容器が 200℃、2Pd となった場合、電線貫通部が健全であることを確認する。

モジュラー型電線貫通部について、電線貫通部の本体、端板の設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰返し荷重が作用しないこと、過度の圧縮力が生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外とする。

本体、端板には、原子炉格納容器内圧が作用するため、塑性変形が生じ、機能喪失要因は延性破壊が想定されることから、本体、端板の厚さが 200℃、2Pd の環境下で、設計・建設規格に規定される必要厚さを上回ることを確認する。

モジュラー型電線貫通部の端板にはモジュール取付用の貫通穴があり、貫通穴間のリガメント部が強度的に厳しくなることから、リガメント部に発生する一次+二次応力が設計・建設規格 PVE-3270 で規定される許容応力 (3S) 以下であることを確認する。

また、電線貫通部のモジュールはエポキシ樹脂により貫通導体の気密性を維持しており、これまでの検証試験結果より気密性維持可能であることを確認する。

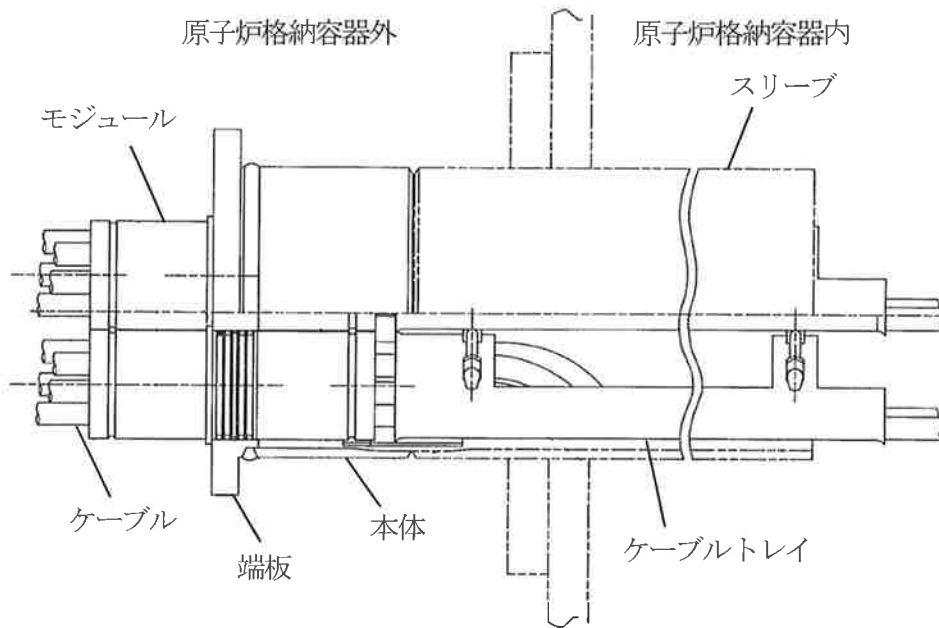
## 2.2 評価方法

本体、端板の厚さが、200℃、2Pd の環境下で、設計・建設規格 PVE-3230, 3410 に従い、規定される必要厚さを上回ることを確認し、導体貫通部の気密性についても確認する。

### (1) 本体、端板の板厚評価

#### a. 電線貫通部の形状

電線貫通部の形状は第 2-1 図に示すとおりである。



第 2-1 図 電線貫通部の形状

第 2-1 表 強度計算に使用する記号の定義

記号	単位	説明
P	MPa	圧力
—	℃	温度
Di	mm	本体内径
d	mm	端板外径
S <sub>1</sub>	MPa	本体の許容引張応力(STS480)
S <sub>2</sub>	MPa	端板の許容引張応力(SUS304L)
η	—	継手効率
T	mm	本体の計算上必要な厚さ
K	—	端板の取付け方法による係数
t <sub>sr</sub>	mm	端板の計算上必要な厚さ

b. 本体板厚計算方法

電線貫通部の本体の計算上必要厚さは、設計・建設規格に基づき、次の式により求める。

$$T = \frac{Pd}{2S_1\eta - 1.2P} \quad (\text{本体板厚}) \quad [\text{PVE-3230}]$$

c. 端板板厚計算方法

電線貫通部の板厚の計算上必要厚さは、設計・建設規格に基づき、次の式により求める。

$$t_{sr} = d \sqrt{\frac{KP}{S_2}} \quad (\text{端板板厚}) \quad [\text{PVE-3410}]$$

(2) 端板の応力評価

モジュラー型電線貫通部の端板にはモジュール取り付け用に貫通穴があり（第 2-2 図）、原子炉格納容器内圧が作用した場合には、貫通穴間のリガメント部が強度的に厳しくなることから、200°C、2Pd を環境条件とし、リガメント部の応力解析を実施する。

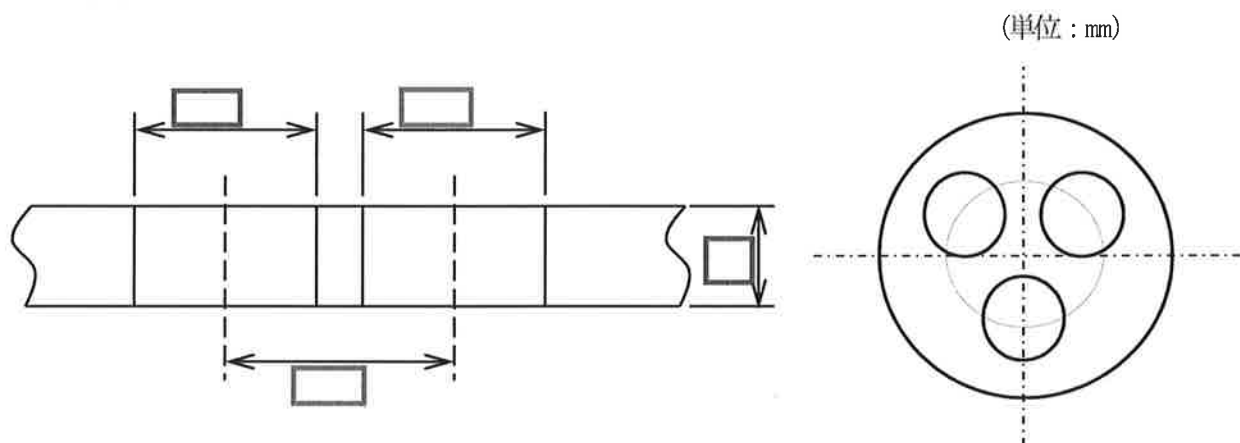
応力解析に使用する解析コードは「MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4」である。

また、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙-3「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

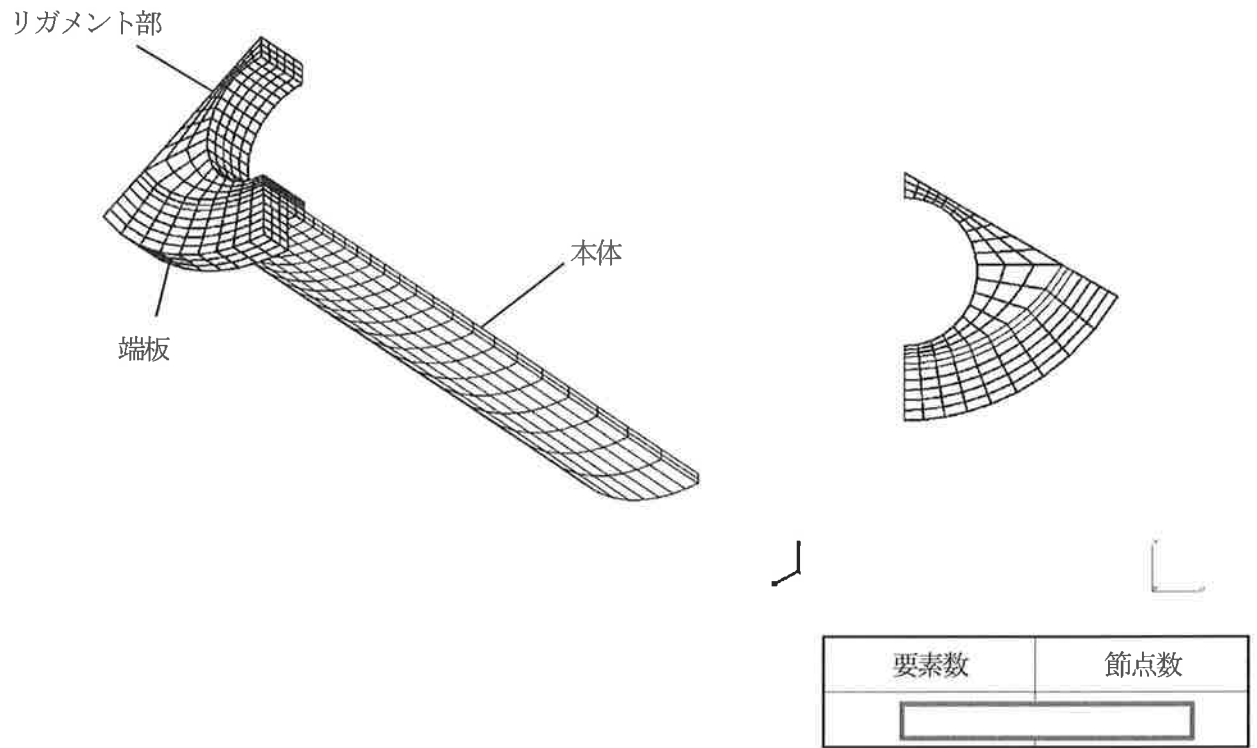
以上により、リガメント部に発生する一次+二次応力が設計・建設規格 PVE-3270 で規定される許容応力(3S)以下であることを確認する。

上記を踏まえた解析モデル、及び解析条件を第 2-3 図、第 2-2 表に示す。

<端板部詳細>



第 2-2 図 端板リガメント



第2-3図 モジュラー型電線貫通部のFEM解析モデル

第2-2表 解析条件

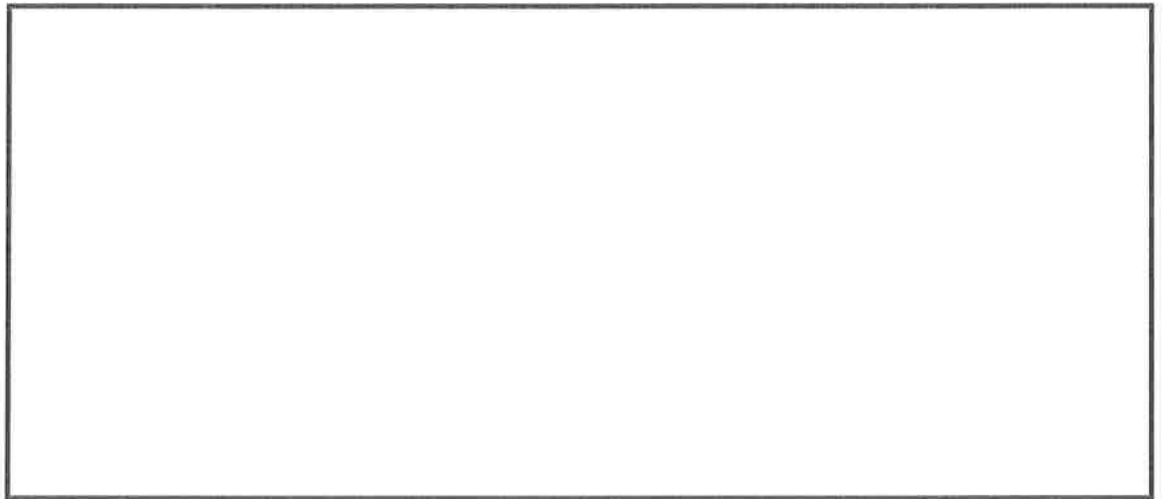
構成部材	縦弾性係数(MPa)	材料
本体	[Empty Box]	
端板		

(3) モジュールの破壊圧力

a. 試験対象

モジュラー型電線貫通部は、エポキシ樹脂により貫通導体の気密性を維持する構造となっている。電線貫通部モジュールの破壊圧力を過去の試験結果より確認し、導体貫通部の気密性が維持されることを確認する。

モジュールではエポキシ樹脂の付着力低下に起因するリークの発生が考えられる。このため、最もリーク量が多くなると考えられる動力用でケーブル収納本数の多いモジュールを試験体として選定している。なお、モジュールと端板との取り付け方法についても美浜発電所3号機に設置予定の電線貫通部と試験体は同一構造としている。構造図を第2-4図に示す。

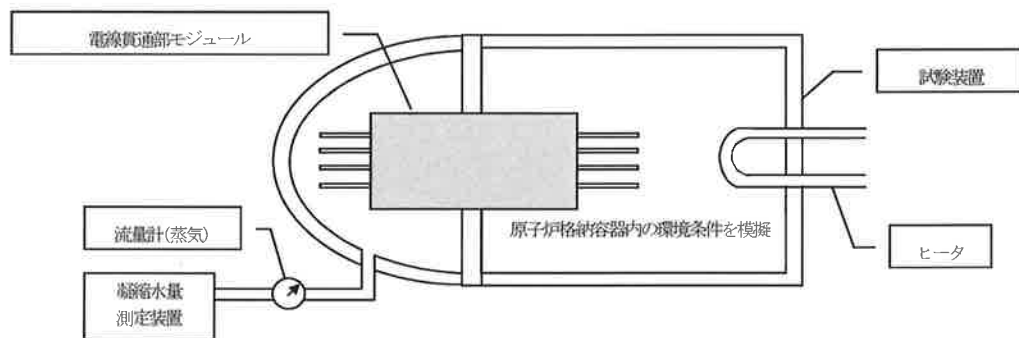


第2-4図 モジュール構造図

b. 試験方法及び試験条件

第2-5図の試験装置内において事故時の原子炉格納容器内の環境条件を模擬した試験を実施した。試験条件を第2-3表に示す。

試験方法は、試験装置内をヒータにより蒸気加熱し、モジュールからの漏えいを蒸気流量及び凝縮水量により測定する。



第2-5図 試験装置概略図

第2-3表 試験条件

試験条件	最高試験圧力	1.12MPa
	最高試験温度	300°C
	集積放射線量	<input type="text"/>

--

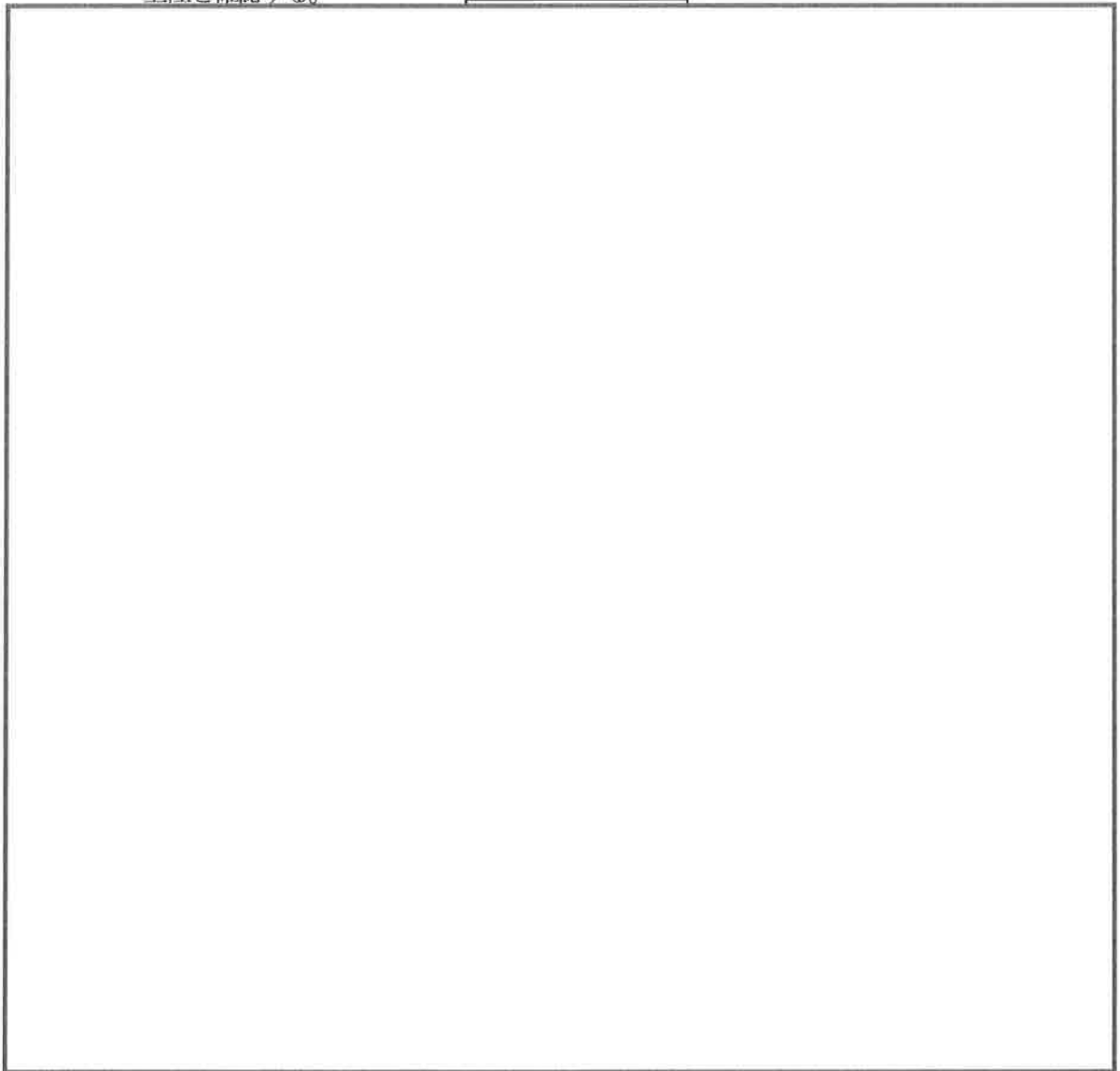
(4) モジュールの長期高温健全性

a. 概要

電線貫通部モジュールの長期高温健全性を確認するために、エポキシ樹脂を試験体として選定し、エポキシ樹脂の炭化有無を確認した。

b. 試験条件

モジュールは原子炉格納容器圧力に対して一次ポッティング部（エポキシ樹脂）で耐圧性を主に期待しているため、一次ポッティング部を試験対象とする。一次ポッティング部を模擬した供試体を、重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器雰囲気温度の最高値（約 138℃）を超える 150℃の恒温槽に一定期間入れて熱劣化試験を行った後、取り出して常温（温度によるエポキシ樹脂の熱膨張を考慮しない）状態でリークテストを行うことで健全性を確認する。



第2-6図 電線貫通部モジュール部

## 2.3 評価結果

### (1) 本体、端板の板厚評価

評価の結果、第2-4表、第2-5表に示すとおり電線貫通部の本体及び端板の最小使用厚さは、計算上必要な厚さ以上であることを確認した。

第2-4表 モジュラー型電線貫通部の本体板厚計算結果

項目	記号	単位	数値
圧力	P	MPa	0.522
温度	—	℃	200
本体内径	Di	mm	<input type="text"/>
本体の許容引張応力 <input type="text"/>	S <sub>1</sub>	MPa	131
継手効率	η	—	1.00
本体の計算上必要な厚さ	t	mm	0.6
本体の最小使用厚さ	—	mm	<input type="text"/>
評価対象貫通部番号	—	—	555
			561

第2-5表 モジュラー型電線貫通部の端板板厚評価結果

項目	記号	単位	数値
圧力	P	MPa	0.522
温度	—	℃	200
端板外径	d	mm	<input type="text"/>
端板の許容引張応力 <input type="text"/>	S <sub>2</sub>	MPa	112
端板の取付け方法による係数	K	—	0.33
端板の計算上必要な厚さ	t <sub>sr</sub>	mm	11.7
端板の最小使用厚さ	—	mm	<input type="text"/>
評価対象貫通部番号	—	—	555
			561



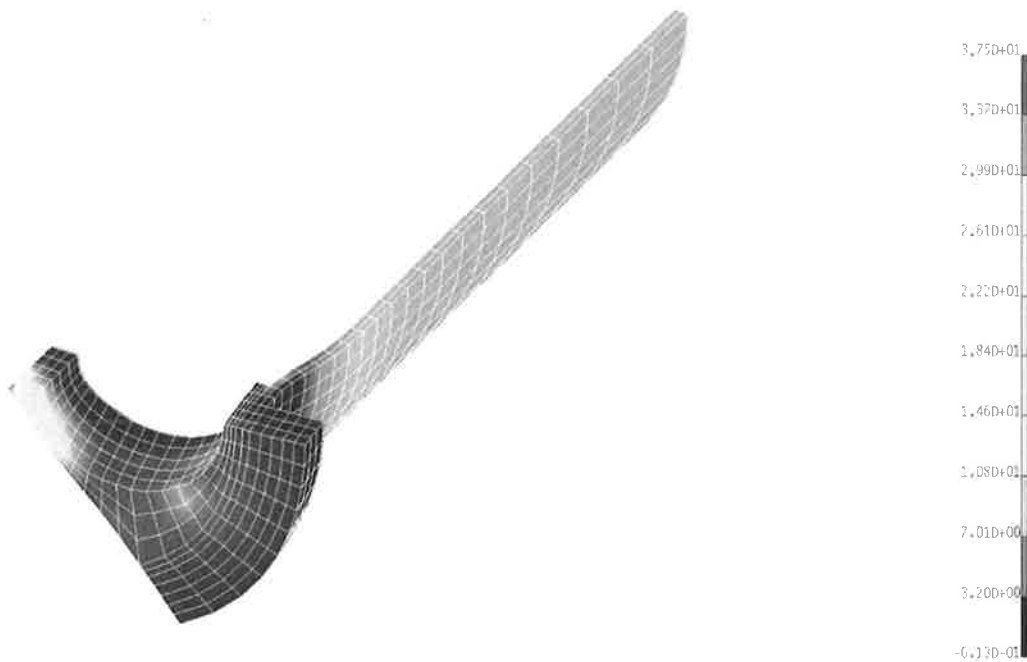
(2) 端板の応力評価

応力評価結果について第2-6表に示す。評価の結果、端板に発生する応力は200℃における材料の許容応力以下であることを確認した。また、2Pdにおける応力コンタ図を第2-7図に示す。

第2-6表 モジュラー型電線貫通部のリガメント評価結果

	D+O+L (事故時)			
	P <sub>m</sub>	P <sub>L</sub>	P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> +Q
応力強さ	[Redacted]			
許容応力	S=112	1.5S=168		3S=336

(単位：MPa)



第2-7図 2Pdにおける応力コンタ図

(3) モジュールの破壊圧力

モジュールの破壊圧力について、以下のとおり試験により破壊圧力が約 1.12MPa であることが確認されており、2Pd(0.522MPa)以上であることを確認した。

試験条件 300℃到達前の温度 292℃、圧力 1.12MPa 時にモジュールが破損し、試験後のモジュールの外観確認において、原子炉格納容器内側のヘッダー部と接着しているエポキシ樹脂まで炭化していることを確認した。(第2-8図)

このことから、エポキシ樹脂の炭化が進行し、原子炉格納容器内側のエポキシ樹脂の強度及び付着力が著しく低下した状態で、原子炉格納容器内側から圧力がかかり、第2-8図に示すように、エポキシ樹脂が破損し、これに沿って原子炉格納容器外側に抜けたと考えられる。

なお、本試験では、重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器雰囲気温度、原子炉格納容器圧力の最高値(約 138℃、約 0.305MPa)からエポキシ樹脂の炭化によりモジュールが破損した温度 292℃、圧力 1.12MPa に至るまでの約 100 時間は漏洩はなかった。



[役割]  
一次ポッティング  
・気密性、耐圧性、電気絶縁性  
二次ポッティング  
・湿気浸入防止、ケーブル保持、電気絶縁性

第2-8図 モジュールの破損箇所

(4) モジュールの長期高温健全性

供試体を 150℃で約 180 日間加熱した後、取り出して常温状態でリークテストを実施した結果、リークは無く、炭化の兆候が無いことを確認した。

これより、有効性評価の範囲及びその後温度・圧力が低下した環境下において、エポキシ樹脂に炭化は発生せず健全性は確保されることから、モジュラー型電線貫通部のシール機能は維持されることが考えられる。

### 3. 電線貫通部 スリーブ

#### 3.1 評価方針

原子炉格納容器が 200℃、2Pd となった場合にスリーブ本体及びスリーブ取付部（以下「スリーブ」という。）で生じる荷重に対し、スリーブが健全であることを確認する。

スリーブの設計時に考慮される機能喪失要因は、脆性破壊、疲労破壊、座屈及び延性破壊が考えられる。今回の評価条件である 200℃、2Pd の条件を考慮した場合、脆性破壊が生じる温度域でないこと、繰り返し荷重が作用しないこと、圧縮力がスリーブに生じないことから、脆性破壊、疲労破壊及び座屈は評価対象外とする。

従って、スリーブの機能喪失要因は、高温状態で内圧を受け、過度な原子炉格納容器の変形に伴う延性破壊が想定されるため、延性破壊評価として応力評価を行う。

#### 3.2 評価方法

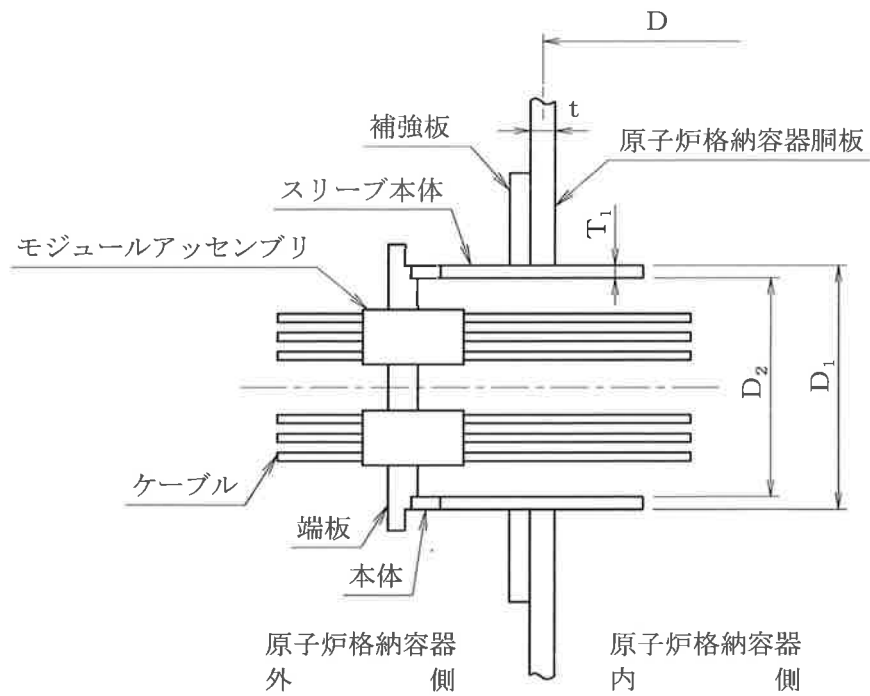
今回の評価は、設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超える 200℃、2Pd の環境下でスリーブに発生する応力が、 $P_m$ （一次一般膜応力強さ）が  $2/3 S_u$ 、 $P_L + P_b$ （一次局部膜応力＋一次曲げ応力強さ）が設計引張強さ（ $S_u$ ）以下であれば、延性破壊には至らず、構造は健全で機能要求（放射性物質の閉じ込め機能）を確保できる。この許容値の考え方は、設計・建設規格 解説 PVB-3111 に示すように、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めた供用状態 D の  $P_m$ 、 $P_L + P_b$  の許容値と同等である。

また、設計・建設規格では一次応力の評価のみが規定されているが、構造不連続部には二次応力が発生することから、一次応力に二次応力を加算した合計応力を一次応力の許容値である設計引張強さ（ $S_u$ ）と比較し評価する。

具体的には、200℃、2Pd の環境下において、自重、原子炉格納容器内圧及び設計外力がスリーブに作用しており、スリーブにかかる一次＋二次応力強さが、原子炉格納容器雰囲気温度 200℃における設計引張強さ（ $S_u$ ）以下になること、一次一般膜応力強さが  $2/3 S_u$  以下になることを確認する。

スリーブ本体については、設計・建設規格 表 PVB-3110-1 に規定される形状係数  $\alpha$  ( $=1.3$ ) を考慮して一次＋二次応力評価の許容値を設定する。

スリーブの基本形状を第 3-1 図に、仕様及び評価条件を第 3-1 表に示す。



電線貫通部

第3-1図 スリーブ基本形状

第3-1表 スリーブの仕様及び評価条件

項目	仕様及び評価条件
評価対象貫通部番号	555、561
原子炉格納容器内圧力 : P (MPa[gage])	0.522
原子炉格納容器内温度 : T (°C)	200
スリーブ本体の外径 : $D_1$ (mm)	
評価点におけるスリーブ本体の内径 : $D_2$ (mm)	
評価点におけるスリーブ本体の厚さ : $T_1$ (mm)	
原子炉格納容器板心直径 : D (mm)	
原子炉格納容器の厚さ : t (mm)	
評価対象スリーブ呼び径	

### 3.2.1 スリーブ本体

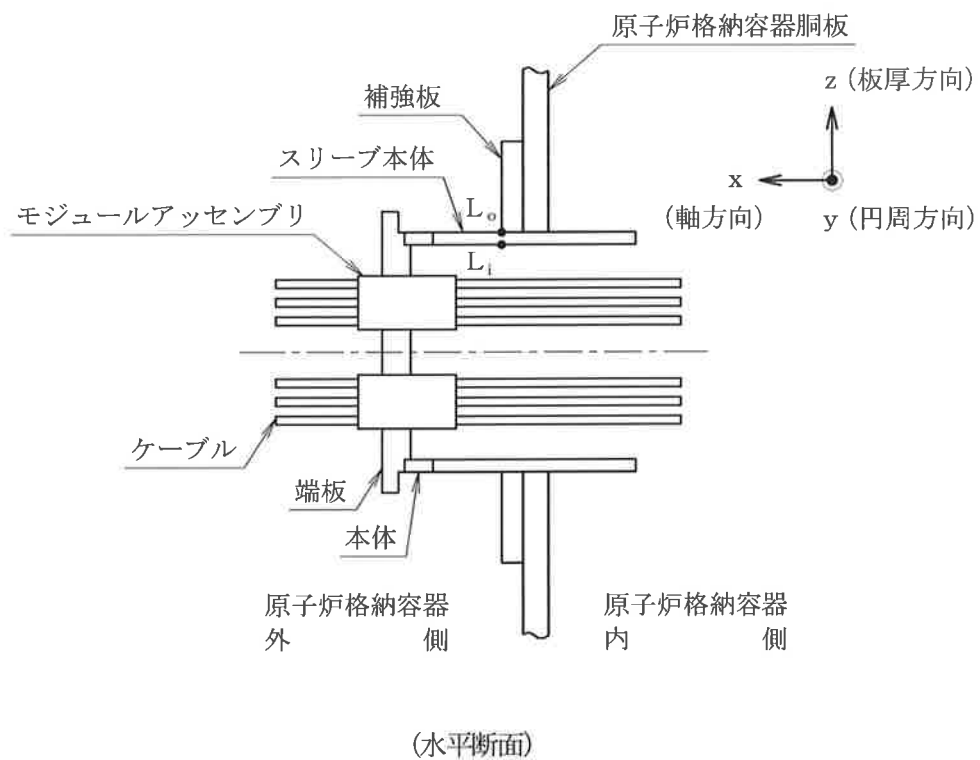
#### (1) 基本事項

原子炉格納容器内圧力及び設計外力による応力の算出を行う。

なお、評価にて使用する各部の寸法については、公称値を用いる。

#### (2) 評価点

スリーブ本体の評価点は、スリーブ本体のうち最大応力の生じる点とし、第3-2図の $L_i$ 及び $L_o$ 点とする。



第3-2図 スリーブ本体の評価点

なお、応力の方向は次のとおりとする。

$\sigma_x$  : スリーブ本体軸方向応力

$\sigma_y$  : スリーブ本体円周方向応力

$\sigma_z$  : スリーブ本体板厚方向応力

(3) 評価荷重

a. 原子炉格納容器内圧力

スリーブ本体に作用する圧力条件は第 3-1 表のとおり。

b. 設計外力

スリーブ本体に作用する設計外力として、設計外力の方向を第 3-3 図に、設計外力を第 3-2 表に示す。

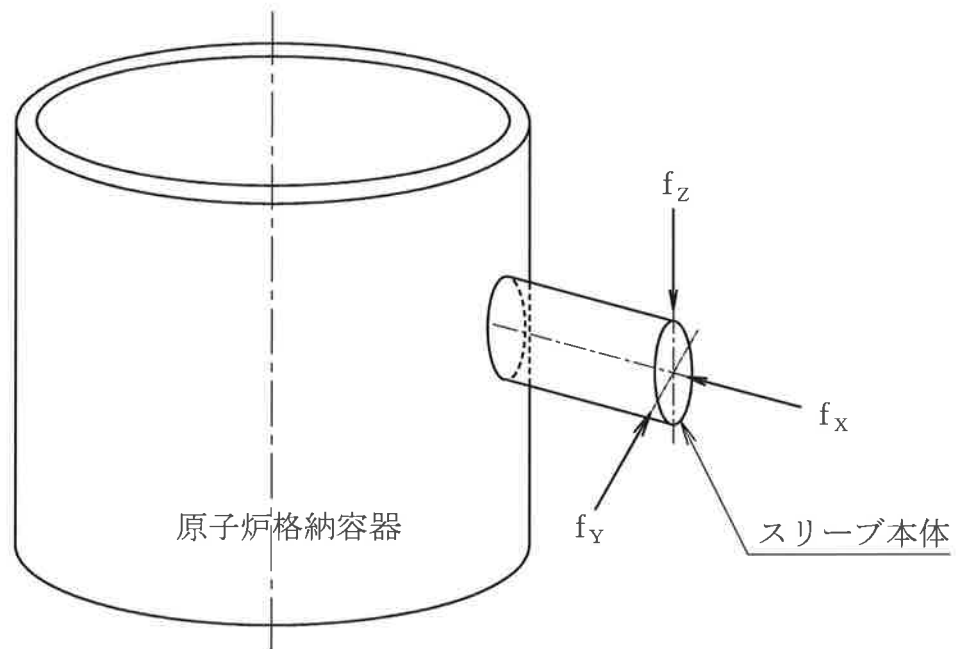
なお、電線ケーブルは柔軟な構造であり、スリーブは電線貫通部本体等からの有意な反力を受けないため、設計外力としては電線貫通部全体の自重( $W_s = f_z$ )のみ作用するものとする。ただし、スリーブ軸直角方向に作用する  $f_z$  は、 $f_y$  方向に作用すると仮定した方が、スリーブ取付部における応力が保守的に算出されるため、 $f_z$  のスリーブ軸直角方向の荷重は、 $f_y$  方向に作用するものとする。

ここで、スリーブに作用する設計外力は発生する応力の特性を考慮して、それぞれ次に示すように取り扱う。

スリーブ本体、スリーブ取付部共通：

$F_x$  : スリーブ軸方向に作用する有意な反力はないので  $F_x = 0$  とする。

$F_y$  : 原子炉格納容器の電線貫通部本体等からの反力  $f_y$  を  $F_y$  とする。 $F_y$  によるせん断応力は微小であり無視するが、 $F_y$  によって生じる曲げモーメントを  $M_z'$  とし、 $M_z'$  による応力を計算する。



第 3-3 図 設計外力の方向



第3-2表 設計外力

貫通部番号	$F_x$	$F_y$
	(N)	
555	0	2,311
561		

(4) 応力算出方法

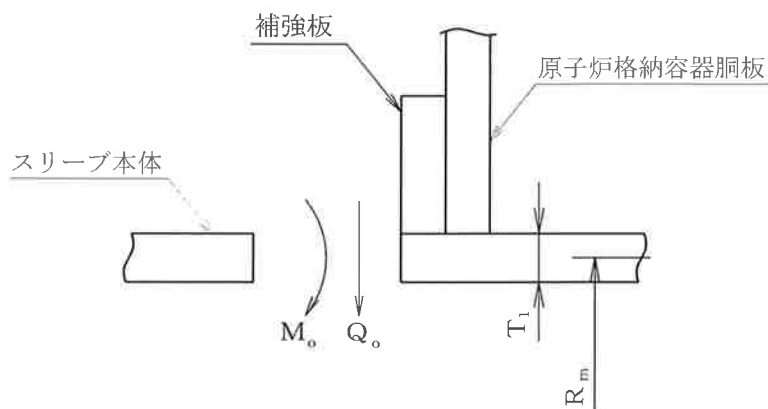
a. 原子炉格納容器内圧力による応力

原子炉格納容器内圧力によりスリーブ本体に発生する応力は、下記のとおり平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の別添-1「6. 配管貫通部 スリーブ」に記載している方法に準じて求める。

(a) 計算要領

補強板との接合部を固定として、不静定荷重（曲げモーメント $M_0$ 及びせん断力 $Q_0$ ）を求め、応力の計算を行う。

ここで、不静定荷重 $M_0$ 及び $Q_0$ は次の図に示す方向を正とする。また、変位はスリーブ本体外向きを正、回転角は右回りを正とする。



(b) 不静定荷重 $M_0$ 及び $Q_0$ 。

評価点における変位及び回転角に関する連続の条件（THEORY OF PLATES AND SHELLS; S. TIMOSHENKO 著）を適用して原子炉格納容器内圧力による不静定荷重 $M_0$ 及び $Q_0$ を求める。

$$\begin{cases} \omega_s + \delta_s = 0 \\ \theta_s + \gamma_s = 0 \end{cases} \dots\dots\dots \text{連続の条件}$$

ここで、

- $\omega_s$  : 不静定荷重によるスリーブ本体変位
- $\theta_s$  : 不静定荷重によるスリーブ本体回転角
- $\delta_s$  : 原子炉格納容器内圧力によるスリーブ本体変位
- $\gamma_s$  : 原子炉格納容器内圧力によるスリーブ本体回転角

連続の条件より不静定荷重は次の式により求める。

$$M_o = -2 \delta_s \cdot \beta^2 \cdot D_e$$

$$Q_o = 4 \delta_s \cdot \beta^3 \cdot D_e$$

$\beta$  : 不静定荷重及び変位の算出に用いる係数

$D_e$  : 曲げ剛性

計算の結果、不静定荷重及び変位は第3-3表に示すとおりとなる。

第3-3表 不静定荷重及び変位の計算結果

スリーブ本体呼び径	
$D_e$ (N・mm)	
$R_m$ (mm)	
$\delta_s$ (mm)	
$\beta$ (mm <sup>-1</sup> )	
$M_o$ (N・mm/mm)	
$Q_o$ (N/mm)	
$\omega_s$ (mm)	

(c) 計算式

応力は次の式により求める。

一次一般膜応力

$$\sigma_x = \frac{P \cdot R_m}{2T_1}$$

$$\sigma_y = \frac{P \cdot R_m}{T_1}$$

$$\sigma_z = -P \quad (\text{スリーブ本体内部})$$

$$0 \quad (\text{スリーブ本体外部})$$

$P$  : 原子炉格納容器内圧力 (MPa)

$R_m$  : スリーブ本体板心半径 (mm)

$T_1$  : スリーブ本体の厚さ (mm)

一次局部膜応力

$$\sigma_y = \frac{E \cdot \omega_s}{R_m}$$

二次応力

$$\sigma_x = \mp \frac{6M_o}{T_1}$$

$$\sigma_y = \mp \frac{6\nu \cdot M_o}{T_1}$$

b. 設計外力による応力

設計外力の軸力及び曲げモーメントによる応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{M_z'}{Z}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

Z : 評価点におけるスリーブ本体断面係数 (mm<sup>3</sup>)

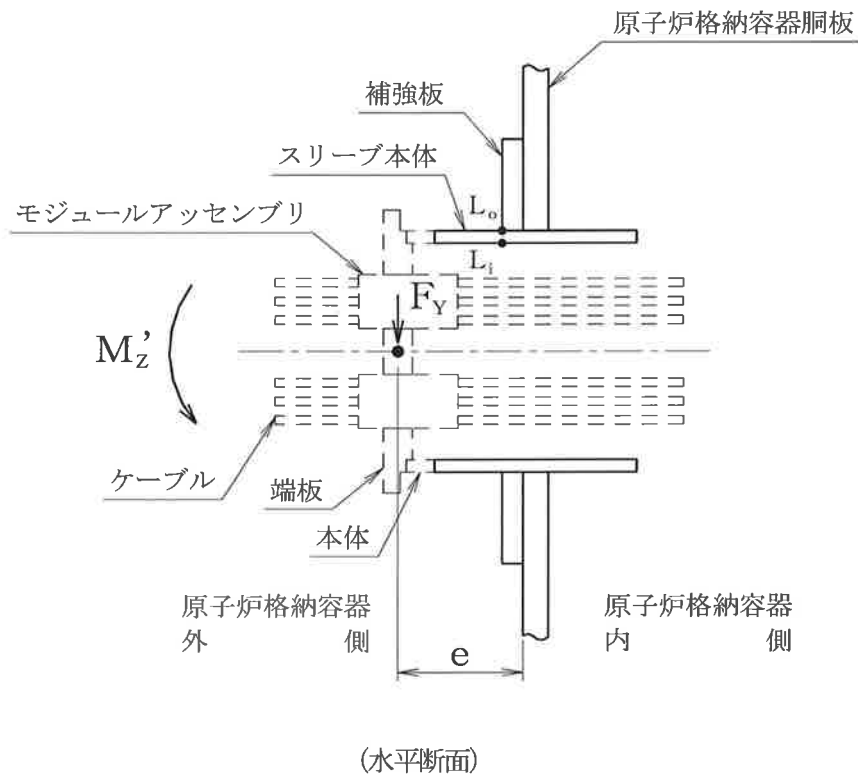
$$Z = \frac{\pi (D_1^4 - D_2^4)}{32D_1}$$

M<sub>z</sub>' : スリーブ本体の評価点にかかる曲げモーメントの合力 (N・m)

なお、設計外力の荷重作用点は下図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。  
 このためスリーブ本体には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

また、スリーブ本体の評価点にかかる曲げモーメント $M_Z'$  は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$



設計外力の軸力及び曲げモーメントを第3-4表に示す。

第3-4表 設計外力の軸力及び曲げモーメント

スリーブ本体 呼び径	貫通部番号	荷重作用点の 距離 e (mm)	設計外力	
			$F_x$ (N)	$M_Z'$ ( $\times 10^3$ N·mm)
12B	555、561	□	0	1,179

(5) 応力評価

(4)項に記載する方法により算出した応力強さが、許容値以下であることを確認する。  
スリーブ本体の荷重の組合せ及び許容値は、第3-5表に示すとおりである。  
また、材料の原子炉格納容器内温度における許容値を第3-6表に示す。

第3-5表 荷重の組合せ及び許容値

荷重の組合せ	許容値	
	一次一般膜応力強さ	一次+二次応力強さ
①原子炉格納容器内圧力	$\frac{2}{3} S u$	$\alpha \times \frac{2}{3} S u$ (注1)
②設計外力		

(注1) :  $\alpha = 1.3$  (設計・建設規格解説PVB-3111による)

第3-6表 材料の原子炉格納容器内温度における許容値

貫通部 番号	応力 強さ	材料	原子炉格納容器 内温度 (°C)	許容値 (MPa)
555 561	一次一般膜 応力強さ	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div>	200	251
	一次+二次 応力強さ			326

### 3.2.2 スリーブ取付部

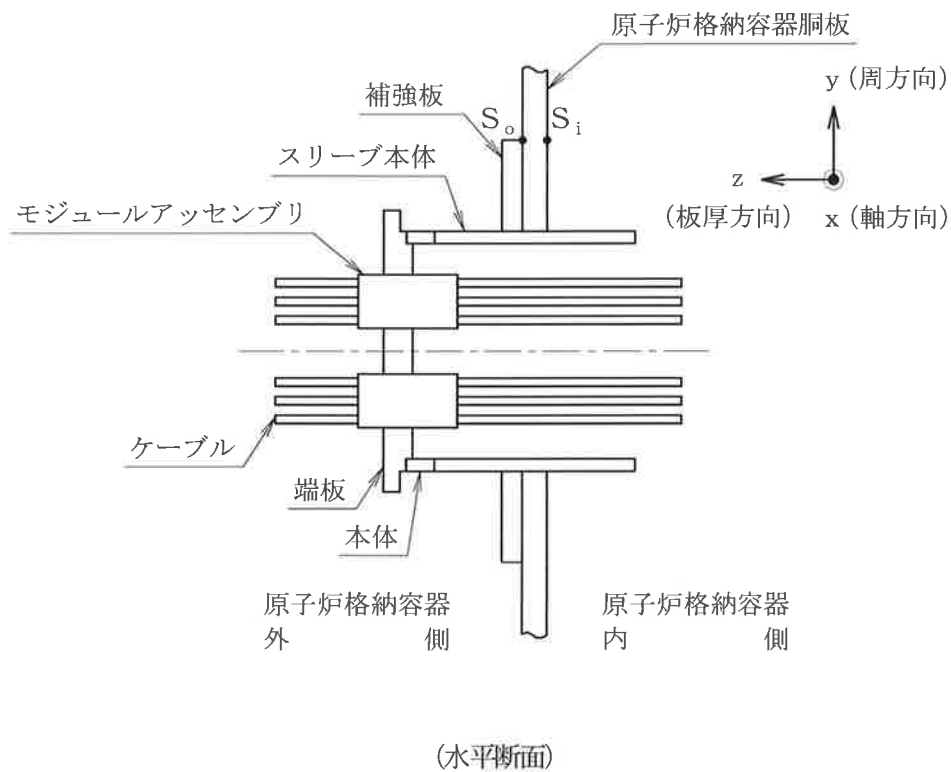
#### (1) 基本事項

評価は、原子炉格納容器の自重、原子炉格納容器内圧力及び原子炉格納容器に局部的に作用する設計外力による応力の算出を行う。

また、評価にて使用する各部の寸法については、公称値を用いる。

#### (2) 評価点

スリーブ取付部の評価点は、原子炉格納容器胴板の水平断面における補強板端部とし、第3-4図の $S_i$ 及び $S_o$ 点とする。



第3-4図 スリーブ取付部の評価点

なお、応力の方向は次のとおりとする。

- $\sigma_x$  : スリーブ取付部 (原子炉格納容器) 軸方向応力
- $\sigma_y$  : スリーブ取付部 (原子炉格納容器) 円周方向応力
- $\sigma_z$  : スリーブ取付部 (原子炉格納容器) 板厚方向応力

### (3) 評価荷重

#### a. 原子炉格納容器の自重

原子炉格納容器固定端での自重として、平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の資料36「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の別添-1「6. 配管貫通部 スリーブ」に記載されている2,855,000kg (27,998,000N) を評価用自重とする。

#### b. 原子炉格納容器内圧力

スリーブ取付部に作用する圧力条件を第3-1表に示す。

#### c. 設計外力

3.2.1(3)b項のスリーブに作用する設計外力とする。

### (4) 応力算出方法

#### a. 原子炉格納容器の自重による応力

原子炉格納容器及び附属物の自重による応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = -\frac{W_p}{\pi \cdot D \cdot t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

$W_p$  : 評価点に作用する原子炉格納容器自重 (N)

$D$  : 評価点における原子炉格納容器胴板板心直径 (mm)

$t$  : 評価点における原子炉格納容器胴板厚さ (mm)

#### b. 原子炉格納容器内圧力による応力

原子炉格納容器の原子炉格納容器内圧力による応力は次の式により求める。

$$\sigma_x = \frac{P \cdot R}{2t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_y = \frac{P \cdot R}{t} \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$\sigma_z = -P \quad (\text{原子炉格納容器内側}) \quad (\text{一次一般膜応力})$$

$$0 \quad (\text{原子炉格納容器外側})$$



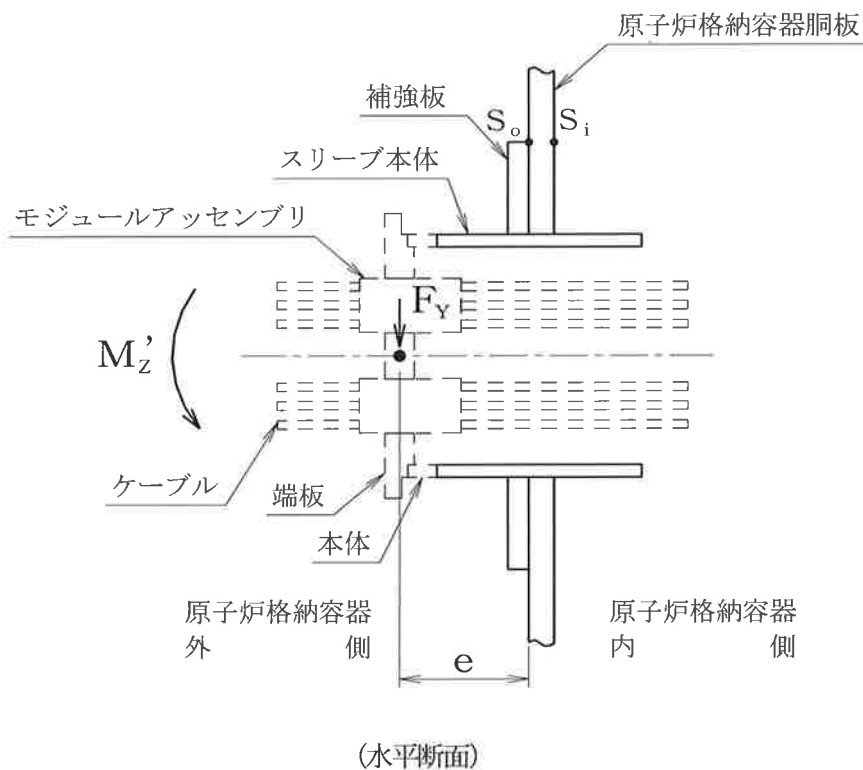
c. 設計外力による応力

(a) 設計外力

スリーブ取付部の計算に用いる設計外力を求める。荷重作用点は下図のとおりであり、原子炉格納容器胴板より偏心している。このため原子炉格納容器（スリーブ取付部）には、 $F_Y$ による曲げモーメントが加わる。

よって、原子炉格納容器（スリーブ取付部）にかかる曲げモーメントの合力 $M_Z'$ は次の式により求める。

$$M_Z' = F_Y \cdot e$$



設計外力の軸力及び曲げモーメントを第3-7表に示す。

第3-7表 設計外力の軸力及び曲げモーメント

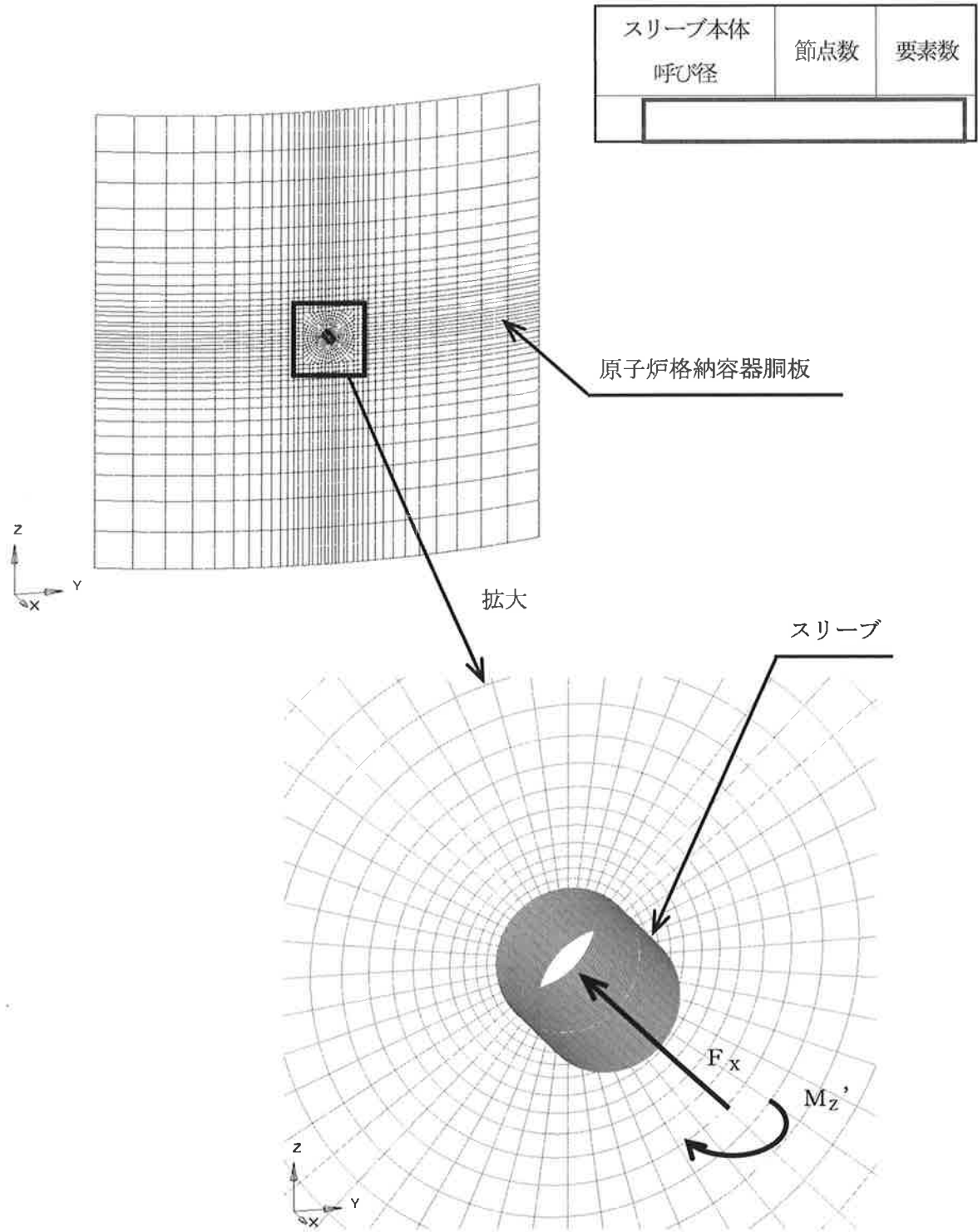
スリーブ本体 呼び径	貫通部番号	荷重作用点 の距離 e (mm)	設計外力	
			$F_x$ (N)	$M_Z'$ ( $\times 10^3$ N·mm)
<input type="text"/>	555、561	<input type="text"/>	0	1,179

(b) 応力

設計外力により発生する局部膜及び曲げ応力は、有限要素法解析コード MSC NASTRAN Ver. 2005r3b を用いて求める。

応力解析は、板要素によりモデル化した第 3-5 図の解析モデルで行う。

また、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN Ver. 2005r3b の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙-3「**計算機プログラム（解析コード）の概要**」に示す。



第3-5図 スリーブ取付部 解析モデル

(5) 応力評価

(4)項に記載する方法により算出した応力強さが、許容値以下であることを確認する。  
スリーブ取付部の荷重の組合せ及び許容値は、第3-8表に示すとおりである。  
また、材料の原子炉格納容器内温度における許容値を第3-9表に示す。

第3-8表 各状態における荷重の組合せ及び許容値

荷重の組合せ	許容値	
	一次一般膜応力強さ	一次+二次応力強さ
①原子炉格納容器自重 ②原子炉格納容器内圧力 ③設計外力	$\frac{2}{3} S u$	$S u$

第3-9表 材料の原子炉格納容器内温度における許容値

貫通部 番号	応力 強さ	材料	原子炉格納容器 内温度 (°C)	許容値 (MPa)
555 561	一次一般膜 応力強さ	<input type="text"/>	200	<input type="text"/>
	一次+二次 応力強さ			<input type="text"/>

### 3.3 評価結果

#### 3.3.1 スリーブ本体

##### (1) 貫通部番号 555、561 (12B) のスリーブ本体

各荷重によるスリーブ本体の応力結果を第 3-10 表に、応力強さの結果を第 3-11 表に示す。

スリーブ本体の応力強さは第 3-10 表より  $\Sigma \sigma_x$ 、 $\Sigma \sigma_y$ 、 $\Sigma \sigma_z$  を求め、 $\max = \{\Sigma \sigma_x - \Sigma \sigma_y$ 、 $\Sigma \sigma_y - \Sigma \sigma_z$ 、 $\Sigma \sigma_z - \Sigma \sigma_x\}$  として算出する。

第 3-11 表より、一次一般膜応力強さは  $\square$ MPa であり、許容値である  $\square$ MPa 以下であることを確認した。一次+二次応力強さは  $\square$ MPa であり、許容値である  $\square$ MPa 以下であることを確認した。

#### 3.3.2 スリーブ取付部

##### (1) 貫通部番号 555、561 (12B) のスリーブ取付部

各荷重によるスリーブ取付部の応力結果を第 3-12 表に、応力強さの結果を第 3-13 表に示す。

スリーブ取付部の応力強さは第 3-12 表より  $\Sigma \sigma_x$ 、 $\Sigma \sigma_y$ 、 $\Sigma \sigma_z$  を求め、 $\max = \{\Sigma \sigma_x - \Sigma \sigma_y$ 、 $\Sigma \sigma_y - \Sigma \sigma_z$ 、 $\Sigma \sigma_z - \Sigma \sigma_x\}$  として算出する。

第 3-13 表より、一次一般膜応力強さは、 $\square$ MPa であり、許容値である  $\square$ MPa 以下であることを確認した。一次+二次応力強さは、 $\square$ MPa であり、許容値である  $\square$ MPa 以下であることを確認した。

第3-10表 各荷重によるスリーブ本体の応力

貫通部番号	評価点	応力 (MPa)										
		原子炉格納容器内圧力による応力										
		(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次局部膜応力			(ハ) 二次応力			(ニ) 一次一般膜応力	
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
555 561 (12B)	L <sub>i</sub>											
	L <sub>o</sub>											

第 3-11 表 スリーブ本体の応力強さ

貫通部番号	評価点	応力強さ (MPa)					
		一次一般膜応力強さ			一次+二次応力強さ		
		$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
555 561 (12B)	L <sub>i</sub>  L <sub>o</sub>	[Empty Box]					
許容値		$\frac{2}{3} S u = 251$			$\alpha \times \frac{2}{3} S u = 326$		

第3-12表 各荷重によるスリーブ取付部の応力

貫通部番号	評価点	応力 (MPa)									
		自重による応力			原子炉格納容器内圧力による応力			設計外力による応力			
		(イ) 一次一般膜応力			(ロ) 一次一般膜応力			(ハ) 一次局部膜応力		(ニ) 二次応力	
$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
555 561 (12B)	S <sub>i</sub>										
	S <sub>o</sub>										



第 3-13 表 スリーブ取付部の応力強さ

貫通部 番号	評価点	応 力 強 さ (MPa)					
		一次一般膜応力強さ			一次+二次応力強さ		
		$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$	$\sigma_x - \sigma_y$	$\sigma_y - \sigma_z$	$\sigma_z - \sigma_x$
555 561 (12B)	$S_i$ $S_o$						
許容値		$\frac{2}{3} S_u = 281$			$S_u = 422$		

## 原子炉格納容器 評価温度、圧力の評価における経年劣化の影響について

原子炉格納容器評価温度、圧力（200℃、2Pd）時の評価対象部位における放射性物質の閉じ込め機能の健全性が、経年劣化により低下していないことを確認し、今回の評価温度、圧力に関する評価結果に影響しないことを確認する。

考慮する経年劣化事象については、先行プラントにおける高経年化技術評価書を参考にする。

電線貫通部（モジュラー型）についてはエポキシ樹脂及び O リングでバウンダリを維持する構造であり、経年劣化事象としてエポキシ樹脂及び O リングの劣化が考えられる。これらの部位の経年劣化については、長期健全性試験により、健全性を確認した。（添付1）

以上により、経年劣化による原子炉格納容器の評価温度、圧力への影響はないことを確認した。

## 電線貫通部（エポキシ樹脂及びOリング）の経年劣化に対する長期健全性評価

## 1. 概要

美浜発電所3号機に設置予定のモジュラー型電線貫通部の長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき長期間の経年劣化を考慮した健全性評価を行う。

## 2. 試験条件

## 2.1 評価項目

エポキシ樹脂及びOリングは有機物であり、熱及び放射線により経年劣化が進行するため、経年劣化に対する評価が必要である。

## 2.2 熱劣化期間算出

エポキシ樹脂及びOリングの加速熱劣化試験を実施するため、以下のアレニウスの式を用いることで、加速熱劣化の条件を設定する。

$$\text{加速倍率算出} \quad a = \exp \left[ \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{(273 + T_{exam})} - \frac{1}{(273 + T_{real})} \right) \right]$$

$$\text{熱劣化期間} \quad T_{acc} = \frac{Z \times 365}{a}$$

加速熱劣化の条件はエポキシ樹脂とOリングを包絡した106℃-44日で設定する。

試験条件設定のための各パラメータを第1表に示す。

第1表 各パラメータ

項目	記号	単位	数値	
			エポキシ樹脂	Oリング
加速倍率	a	倍	503	1714
気体定数	R	kcal/mol・K	0.001987	
実機温度	T <sub>real</sub>	℃	59	56
試験温度	T <sub>exam</sub>	℃	106	
部材の活性化エネルギー※	E	kcal/mol	33.1	36.9
評価年数	Z	years	60	
熱劣化期間	T <sub>acc</sub>	Days	44	13

※メーカ値であり、複数の試験温度で部材の機能が維持される期間をプロットし、直線の傾きから活性化エネルギーを算出

### 2.3 長期健全性評価

長期健全性試験条件を第2表に示す。

第2表 試験条件

	試験条件※	説明
加速熱劣化	106℃ - 44日間	試験条件は、電線貫通部の周囲温度（約40℃）で60年間の運転に相当する条件（ポッティング材：106℃-3日、Oリング：106℃-1日）を包絡している。
放射線照射	2k Gy(平常時) 1300k Gy(事故時)	美浜発電所3号機の60年間の運転に予想される集積線量、設計想定事故時線量を包絡している。
事故時 雰囲気暴露	温度 Max 190℃ 圧力 Max 0.414 MPa 時間 ~6日間	美浜発電所3号機の設計想定事故時の最高温度（約122℃）、最高圧力（約0.261MPa）を包絡している。

※ 出典：電力共同委託「モジュラー型電気ペネトレーションの長期健全性評価（H21年2月）」

### 3. 試験結果

表2の試験条件を負荷した後の漏えい試験では、漏えい量は $1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}$ であった。一方、美浜発電所3号機の原子炉格納容器局部漏えい率検査（B種試験）における電線貫通部のモジュール1台当たりの許容漏えい量は $0.69 \text{ cm}^3/\text{s}$ であり、漏えい量は十分小さい値となっている。

このことから、モジュラー型電線貫通部は60年間の運転を想定しても、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる。

## 原子炉格納容器 評価温度、圧力負荷後の耐震性の影響について

## 1. 検討方針

原子炉格納容器が重大事故等時の温度、圧力を超える評価温度、圧力（200℃、2Pd）が負荷された後の耐震性の影響について確認する。

原子炉格納容器の評価対象の各部位に対し、評価温度、圧力負荷時に部材が弾性域又は塑性域のいずれにあるか、また、除荷後に残留ひずみが生じるかを確認するとともに、除荷後の原子炉格納容器の耐震性への影響について確認する。

## 2. 検討結果

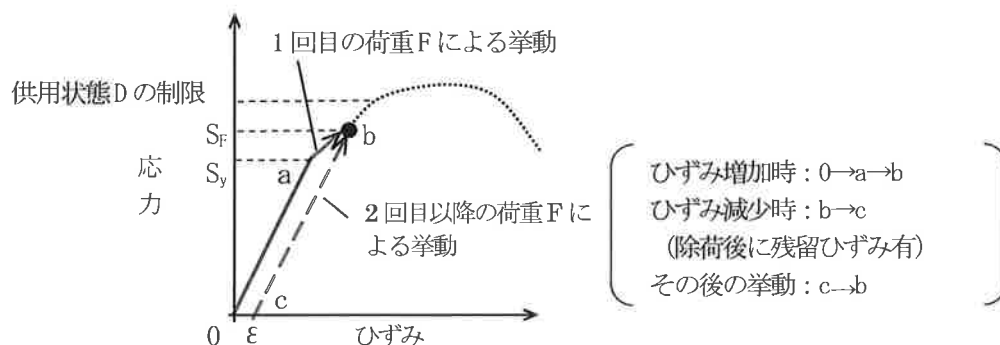
残留ひずみの有無及び耐震性への影響有無については、一次応力のみ考慮する部位と一次+二次応力を考慮する部位に分けて次のとおり判断する。

評価温度、圧力負荷時に周囲の部材の変形の影響を受けず二次応力を考慮する必要がない場合は、一次応力が  $S_y$  を超えるか否かで残留ひずみの有無を確認する。この場合、一次応力が  $S_y$  以下の場合は、除荷後に残留ひずみは生じない（第1図、 $0 \rightarrow a \rightarrow 0$ ）。 $S_y$  を超える場合は、除荷後に残留ひずみが生じる（第1図、 $0 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$ ）。一次応力は与えられた荷重に対して決定する応力であるため、同じ荷重が作用した場合の発生応力は除荷後も同等であり、評価温度、圧力負荷前と同じ弾性的挙動を示す（第1図、 $c \rightarrow b$ ）。また、設計・建設規格の許容値は荷重を変形前の断面積で割った公称応力を基に設定されているため（第2図）、設計・建設規格の許容値内であれば発生応力を算出する際に変形前の断面積を用いて問題ない。

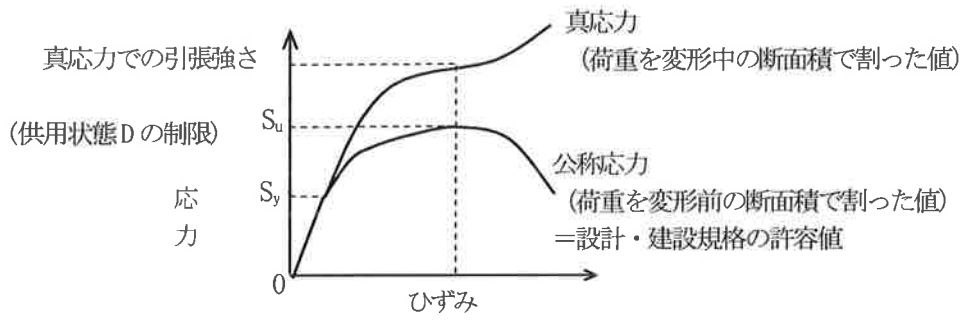
材料にあらかじめひずみが作用した場合について、作用した予ひずみ（～約19%）だけ応力-ひずみ曲線をシフトしたものと、予ひずみが作用しない材料の応力-ひずみ曲線がほぼ一致するという知見<sup>注1</sup>が得られており、十分小さな残留ひずみであれば発生応力に与える影響はない。

地震（許容応力状態 IV<sub>A</sub>S）の一次応力の許容応力は、供用状態 D の許容応力の制限内で同等であり、さらに評価温度、圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性に影響はないことを確認した。

注1：日本溶接協会「建築鉄骨の地震被害と鋼材セミナー（第12回溶接構造用鋼材に関する研究成果発表会）」 JWES-IS-9701、(1997)



第1図 降伏点を越える場合のひずみ履歴イメージ(一次応力)



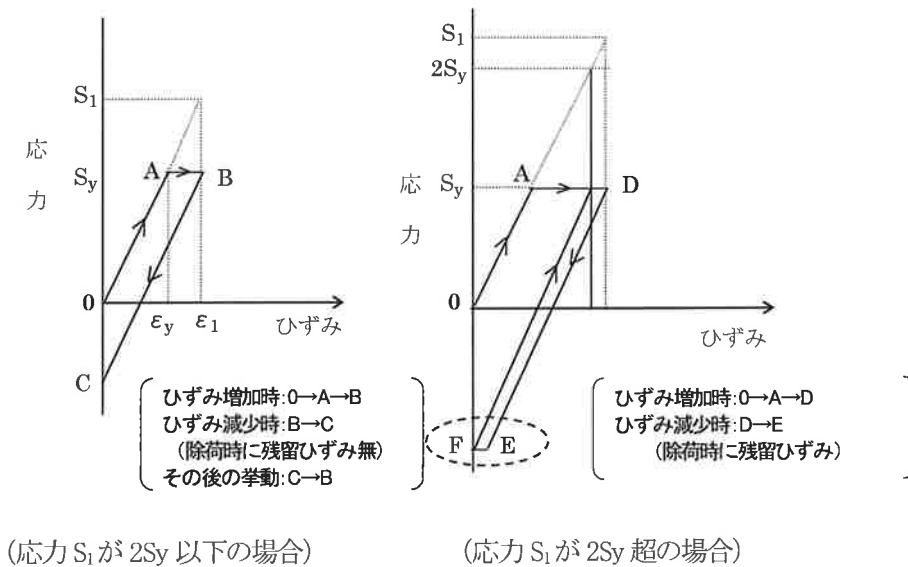
第2図 公称応力と真応力について

次に、評価温度、圧力負荷時に周囲の部材の変形の影響を受けるため、局部的に発生する二次応力を考慮する必要がある場合は、構造不連続部に発生する二次応力も考慮して、一次+二次応力で残留ひずみの有無を確認する。一次+二次応力が  $S_y$  を超えると塑性域に入るが（第3図（解説PVB-3112）、 $0 \rightarrow A \rightarrow B$ ）、 $2S_y$  以下の場合は除荷時にひずみが減少し、除荷後に残留ひずみは生じない（第3図（解説PVB-3112）、 $B \rightarrow C$ ）。また、その後の挙動は第3図のB-C上の弾性的挙動を示し、これは評価温度、圧力負荷前と同じである。

一次+二次応力が  $2S_y$  を超える場合は、残留ひずみ有と判断する（第3図（応力  $S_1$  が  $2S_y$  超の場合））。しかし、十分小さな残留ひずみであれば、上述のとおり、発生応力に与える影響はない。

地震（許容応力状態 IV<sub>S</sub>）の一次+二次応力の許容応力は、今回の一次+二次応力の許容応力と同等であることから、地震による外力が加わったとしても一次+二次応力の許容応力の制限内であり、さらに評価温度、圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性に影響はないことを確認した。

また、一次応力が  $S_y$  を超える部位については、残留ひずみ有と判断する。このとき、上述のとおり、十分小さな残留ひずみであれば発生応力に与える影響はない。



第3図 降伏点を越える場合のひずみ履歴イメージ(一次+二次応力)

除荷後に残留ひずみが生じるかを確認するとともに、除荷後の挙動により、耐震性への影響を評価するため、2～13章における評価手法を基に、一次応力が供用状態 D の制限内か又は一次+二次応力が  $2S_y$  以下かを確認した。

原子炉格納容器本体（円筒部）及びスリーブ（スリーブ取付部）については、一次応力が  $S_y$  を超えるため除荷後に残留ひずみが生じるが供用状態 D の制限内であり、除荷後は弾性的挙動を示すため、耐震性への影響はない。

また、スリーブ取付部については、一次+二次応力が  $2S_y$  (452MPa) を超えるため、除荷後に残留ひずみが生じると判断されるが、十分小さな残留ひずみであるため、耐震性への影響はない。

エアロック（隔壁部）、閉止フランジ、閉止板、短管、電線貫通部及び原子炉格納容器隔離弁については、一次応力が  $S_y$  を超えないと考えられ、残留ひずみは生じない。伸縮継手については疲労係数が小さいことから耐震性への影響はない。

機器搬入口（フランジ部）は、評価温度、圧力負荷時の一次応力+二次応力を考慮した弾塑性解析の結果、残留ひずみが生じると判断されるが、十分小さな残留ひずみであるため、耐震性への影響はない。

貫通配管については、一次+二次応力が  $2S_y$  を超えるため、残留ひずみが生じると判断されるが、耐震性への影響はない。

以上より、評価温度・圧力負荷後は、負荷前と同様の挙動を示すことを確認した。

従って、耐震評価にて考慮する許容応力に対応する地震が生じた場合、地震による外力が加わったとしても今回の評価で考慮した許容応力の制限内であり、さらに評価温度、圧力負荷前と同様の挙動を示すことから、耐震性への影響はない。



第1表 各部位の評価温度・圧力負荷時の状況

評価部位	評価点	応力分類	評価値 <sup>注1</sup>	判定値	残留ひずみ 有無	備考
原子炉 格納容器本体	円筒部	一次			有 (1%未満)	
機器搬入口	フランジ部	一次+二次			有 (5%未満)	
エアロック	隔壁部	一次			無	
貫通配管	同左 (貫通部 付近)	一次+二次			有 (9%未満)	
スリーブ	スリーブ 取付部	一次			有 (1%未満)	
		一次+二次				
端板	配管取付部	一次+二次			無	
閉止フランジ	同左	一次			無	
閉止板	同左	一次			無	
伸縮継手	同左					
短管	同左	一次			無	
電線貫通部	端板	一次			無	
原子炉格納容器 隔離弁	弁箱	一次			無	

注1 判定値を超える場合、残留ひずみ有となる。

注2 弾塑性解析の結果より得られた発生ひずみを保守的に残留ひずみとする。

注3 200℃の $S_y$ をヤング率で割った値である。

注4 設計・建設規格 解説GNR-2200より $S_m$ は $2/3S_y$ 相当であり、 $3S_m$ は $2S_y$ 相当である。

注5 設計・建設規格 解説GNR-2200より $S$ は $5/8S_y$ 相当であり、 $3S$ は $15/8S_y$ 相当である。

注6 呼び圧力により標準化された設計による200℃での許容圧力

計算機プログラム（解析コード）の概要

## 目 次

	頁
1. はじめに .....	M3-別紙3-1
2. 解析コードの概要 .....	M3-別紙3-2
2.1 MSC NASTRAN Ver.2008.0.4 .....	M3-別紙3-2
2.2 MSC NASTRAN Ver.2005r3b .....	M3-別紙3-4

## 1. はじめに

本資料は、「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4

#### 2.1.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4の概要

対象：原子炉格納容器 電線貫通部 端板

項目	コード名
	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
使用目的	3次元有限要素法（3次元ソリッドモデル）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国MSC Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>MSC NASTRAN Ver2008. 0. 4 は汎用市販コードであり、今回の解析は、電線貫通部の3次元有限要素法（3次元ソリッドモデル）による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる簡素な体系について、理論モデルによる理論解と解析解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul>

**【妥当性確認(Validation)】**

本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。

- 本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- 本工事計画で行う解析と類似するものとして、「泊3号機 第4回工認 電線貫通部の強度計算書」で実施した、端板リガメント部の応力解析の事例がある。
- 既工認における解析結果との比較として、「泊3号機 第4回工認 電線貫通部の強度計算書」におけるMSC NASTRAN Ver. 2001を用いた端板リガメント部の応力解析をMSC NASTRAN Ver. 2008.0.4で実施し、同じ解が得られることを確認している。
- 本工事計画で行う3次元有限要素法(3次元ソリッドモデル)による応力解析の用途、適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。

## 2.2 MSC NASTRAN Ver. 2005r3b

### 2.2.1 MSC NASTRAN Ver. 2005r3bの概要

対象：原子炉格納容器 電線貫通部 スリーブ

項目	コード名
	MSC NASTRAN
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2005r3b
使用目的	3次元有限要素法（3次元シェル）による応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国MSC. Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNastran（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>MSC NASTRAN Ver. 2005r3bは、原子炉格納容器電線貫通部スリーブ（スリーブ取付部）の3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> </ul>

本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

**【妥当性確認(Validation)】**

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- ・ 本工事計画で行う解析と類似する容器の応力解析の事例が、開発機関のホームページに掲載されている。
- ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（3次元シェル）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- ・ 検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- ・ 本工事計画において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
- ・ 本工事計画で行う3次元有限要素法（3次元シェルモデル）による応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲であることを確認している。



資料 8 設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書

## 目 次

資料 8-1 設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書

資料 8-2 本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画

資料 8 - 1 設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書

## 目 次

	頁
1. 概要	M3-添8-1-1
2. 基本方針	M3-添8-1-1
3. 設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等	M3-添8-1-3
3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の相互関係及び情報伝達含む。）	
.....	M3-添8-1-3
3.1.1 設計に係る組織	M3-添8-1-4
3.1.2 工事及び検査に係る組織	M3-添8-1-4
3.1.3 調達に係る組織	M3-添8-1-4
3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査	M3-添8-1-7
3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用	M3-添8-1-7
3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査	M3-添8-1-7
3.3 設計に係る品質管理の方法	M3-添8-1-10
3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	M3-添8-1-10
3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	M3-添8-1-10
3.3.3 設工認における設計及び設計のアウトプットに対する検証	M3-添8-1-12
3.3.4 設計における変更	M3-添8-1-22
3.4 工事に係る品質管理の方法	M3-添8-1-22
3.4.1 設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）	M3-添8-1-22
3.4.2 具体的な設備の設計に基づく工事の実施	M3-添8-1-23
3.5 使用前事業者検査の方法	M3-添8-1-24
3.5.1 使用前事業者検査での確認事項	M3-添8-1-24
3.5.2 使用前事業者検査の計画	M3-添8-1-24
3.5.3 検査計画の管理	M3-添8-1-28
3.5.4 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理	M3-添8-1-28
3.5.5 使用前事業者検査の実施	M3-添8-1-28
3.6 設工認における調達管理の方法	M3-添8-1-33
3.6.1 供給者の技術的評価	M3-添8-1-33
3.6.2 供給者の選定	M3-添8-1-33
3.6.3 調達製品の調達管理	M3-添8-1-33
3.6.4 請負会社他品質監査	M3-添8-1-37
3.6.5 設工認における調達管理の特例	M3-添8-1-37
3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ	M3-添8-1-38

3.7.1	文書及び記録の管理	.....	M3-添8-1-38
3.7.2	識別管理及びトレーサビリティ	.....	M3-添8-1-42
3.8	不適合管理	.....	M3-添8-1-42
4.	適合性確認対象設備の施設管理	.....	M3-添8-1-43
4.1	使用開始前の適合性確認対象設備の保全	.....	M3-添8-1-43
4.1.1	工事を着手し設置が完了している常設又は可搬の設備	.....	M3-添8-1-43
4.1.2	設工認の認可後に工事を着手し設置が完了している常設又は可搬の設備	.....	M3-添8-1-43
4.2	使用開始後の適合性確認対象設備の保全	.....	M3-添8-1-43
様式-1	本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画 (例)	.....	M3-添8-1-45
様式-2(1/2)	設備リスト (例) (設計基準対象施設)	.....	M3-添8-1-46
様式-2(2/2)	設備リスト (例) (重大事故等対処設備)	.....	M3-添8-1-47
様式-3	技術基準規則の各条文と各施設における適用要否の考え方 (例)	.....	M3-添8-1-48
様式-4(1/2)	施設と条文の対比一覧表 (例) (設計基準対象施設)	.....	M3-添8-1-49
様式-4(2/2)	施設と条文の対比一覧表 (例) (重大事故等対処設備)	.....	M3-添8-1-50
様式-5	設工認添付書類星取表 (例)	.....	M3-添8-1-51
様式-6	各条文の設計の考え方 (例)	.....	M3-添8-1-52
様式-7	要求事項との対比表 (例)	.....	M3-添8-1-53
様式-8	基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表 (例)	.....	M3-添8-1-54
様式-9	適合性確認対象設備ごとの調達に係る管理のグレード及び実績 (設備関係) (例)	.....	M3-添8-1-55
添付1	当社におけるグレード分けの考え方	.....	M3-添8-1-56
添付2	技術基準規則ごとの基本設計方針の作成に当たっての基本的な考え方	.....	M3-添8-1-65
添付3	設工認における解析管理について	.....	M3-添8-1-67
添付4	当社における設計管理・調達管理について	.....	M3-添8-1-74

## 1. 概要

本資料は、設計及び工事の計画（以下「設工認」という。）の「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」（以下「設工認品質管理計画」という。）に基づき、設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画、並びに、工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画を記載する。

## 2. 基本方針

本資料では、設工認における、「設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画」及び「工事に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画」を、以下のとおり説明する。

### (1) 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画

「設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画」として、以下に示す2つの段階を経て実施した設計の管理の方法を「3. 設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等」に記載する。

具体的には、組織について「3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の相互関係及び情報伝達含む。）」に、実施する各段階について「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査」に、品質管理の方法について「3.3 設計に係る品質管理の方法」に、調達管理の方法について「3.6 設工認における調達管理の方法」に、文書管理、識別管理、トレーサビリティについて「3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ」に、不適合管理の方法について「3.8 不適合管理」に記載する。

また、これらの方法により行った管理の具体的な実績を、様式-1「本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画（例）」（以下「様式-1」という。）に取りまとめる。

- a. 実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認対象設備に対する技術基準規則の条文ごとの基本設計方針の作成
- b. 前項 a で作成した条文ごとの基本設計方針を基に、実用炉規則の別表第二に示された事項に対して必要な設計を含む技術基準規則等への適合に必要な設備の設計（作成した条文ごとの基本設計方針に対し、工事を継続又は完了している設備の設計実績等を用いた技術基準規則等への適合に必要な設備の設計を含む。）

これらの設計に係る記載事項には、設計の要求事項として明確にしている事項及びその審査に関する事項、設計の体制として組織内外の相互関係、設計・開発の各段階における審査等に関する事項並びに組織の外部の者との情報伝達に関する事項等を含めて記載する。

(2) 工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画

「工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画」として、設工認申請（届出）時点で設置されている設備、工事を継続又は完了している設備を含めた設工認対象設備の工事及び検査に係る品質管理の方法を「3. 設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等」に記載する。

具体的には、組織について「3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の相互関係及び情報伝達含む。）」に、実施する各段階について「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査」に、品質管理の方法について「3.4 工事に係る品質管理の方法」及び「3.5 使用前事業者検査の方法」に、調達管理の方法について「3.6 設工認における調達管理の方法」に、文書管理、識別管理、トレーサビリティについて「3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ」に、不適合管理の方法について「3.8 不適合管理」に記載する。

また、これらの工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画を、様式-1に取りまとめる。

工事及び検査に係る記載事項には、工事及び検査に係る要求事項として明確にする事項及びその審査に関する事項、工事及び検査の体制として組織内外の相互関係（使用前事業者検査の独立性、資源管理及び物品の状態保持に関する事項を含む。）、工事及び検査に必要なプロセスを踏まえた全体の工程及び各段階における監視測定、妥当性確認及び検査等に関する事項（記録、識別管理、トレーサビリティ等に関する事項を含む。）並びに組織の外部の者との情報伝達に関する事項等を含めて記載する。

(3) 設工認対象設備の施設管理

適合性確認対象設備は、必要な機能・性能を発揮できる状態に維持されていることが不可欠であり、その維持の管理の方法について「4. 適合性確認対象設備の施設管理」で記載する。

(4) 設工認で記載する設計、工事及び検査以外の品質保証活動

設工認に必要な設計、工事及び検査は、設工認品質管理計画に基づく品質マネジメントシステム体制のもとで実施するため、上記以外の責任と権限、原子力の安全の確保の重視、必要な要員の力量管理を含む資源の管理及び不適合管理を含む評価及び改善については、「美浜発電所原子炉施設保安規定」（以下「保安規定」という。）の品質マネジメントシステム計画（以下「保安規定品質マネジメントシステム計画」という。）に従った管理を実施する。

また、当社の品質保証活動は、健全な安全文化を育成し及び維持するための活動と一

体となった活動を実施している。

### 3. 設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等

設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理は、品質マネジメントシステム及び保安規定品質マネジメントシステム計画に基づき実施する。

また、特定重大事故等対処施設にかかわる秘匿性を保持する必要がある情報については以下の管理を実施する。

#### (1) 秘密情報の管理

「実用発電用原子炉に係る特定重大事故等対処施設に関する審査ガイドにおける航空機等の特性等」（平成26年9月18日原子力規制委員会）及び同ガイドを用いて作成した情報を含む文書（以下「秘密情報」という。）については、秘密情報の管理に係る管理責任者を指定し、秘密情報を扱う者（以下「取扱者」という。）の名簿での登録管理を実施する。また、秘密情報を含んだ電子データは取扱者以外の者のアクセスを遮断するためパスワードの設定等を実施する。

#### (2) セキュリティの観点から非公開とすべき情報の管理

上記(1)以外の特定重大事故等対処施設に関する情報を含む文書については、業務上知る必要のある者以外の者がみだりに閲覧できない状態で管理する。また、特定重大事故等対処施設に係る調達の際、当該情報を含む文書等について業務上知る必要のある者以外の者がみだりに閲覧できない状態で管理することを要求する

以下に、設計、工事及び検査、調達管理等のプロセスを示す。

#### 3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の相互関係及び情報伝達含む。）

設工認に基づく設計、工事及び検査は、第3.1-1図に示す本店組織及び発電所組織に係る体制で実施する。

また、設計（「3.3 設計に係る品質管理の方法」）、工事（「3.4 工事に係る品質管理の方法」）、検査（「3.5 使用前事業者検査の方法」）並びに調達（「3.6 設工認における調達管理の方法」）の各プロセスを主管する箇所を第3.1-1表に示す。

第3.1-1表に示す各プロセスを主管する箇所の長は、担当する設備に関する設計、工事及び検査並びに調達について、責任と権限を持つ。

各主任技術者は、それぞれの職務に応じた監督を行うとともに、相互の職務について適宜情報提供を行い、意思疎通を図る。

設計から工事及び検査への設計結果の伝達、当社から供給者への情報伝達など、組織



内外や組織間の情報伝達については、設工認に従い確実に実施する。

#### 3.1.1 設計に係る組織

設工認に基づく設計は、第3.1-1表に示す主管箇所のうち、「3.3 設計に係る品質管理の方法」に係る箇所が設計を主管する組織として実施する。

この設計に必要な資料の作成を行うため、第3.1-1図に示す体制を定めて設計に係る活動を実施する。

また、設工認に基づき実施した施設ごとの具体的な体制について、設工認に示す設計の段階ごとに様式-1に取りまとめる。

#### 3.1.2 工事及び検査に係る組織

設工認に基づく工事は、第3.1-1表に示す主管箇所のうち、「3.4 工事に係る品質管理の方法」に係る箇所が工事を主管する組織として実施する。

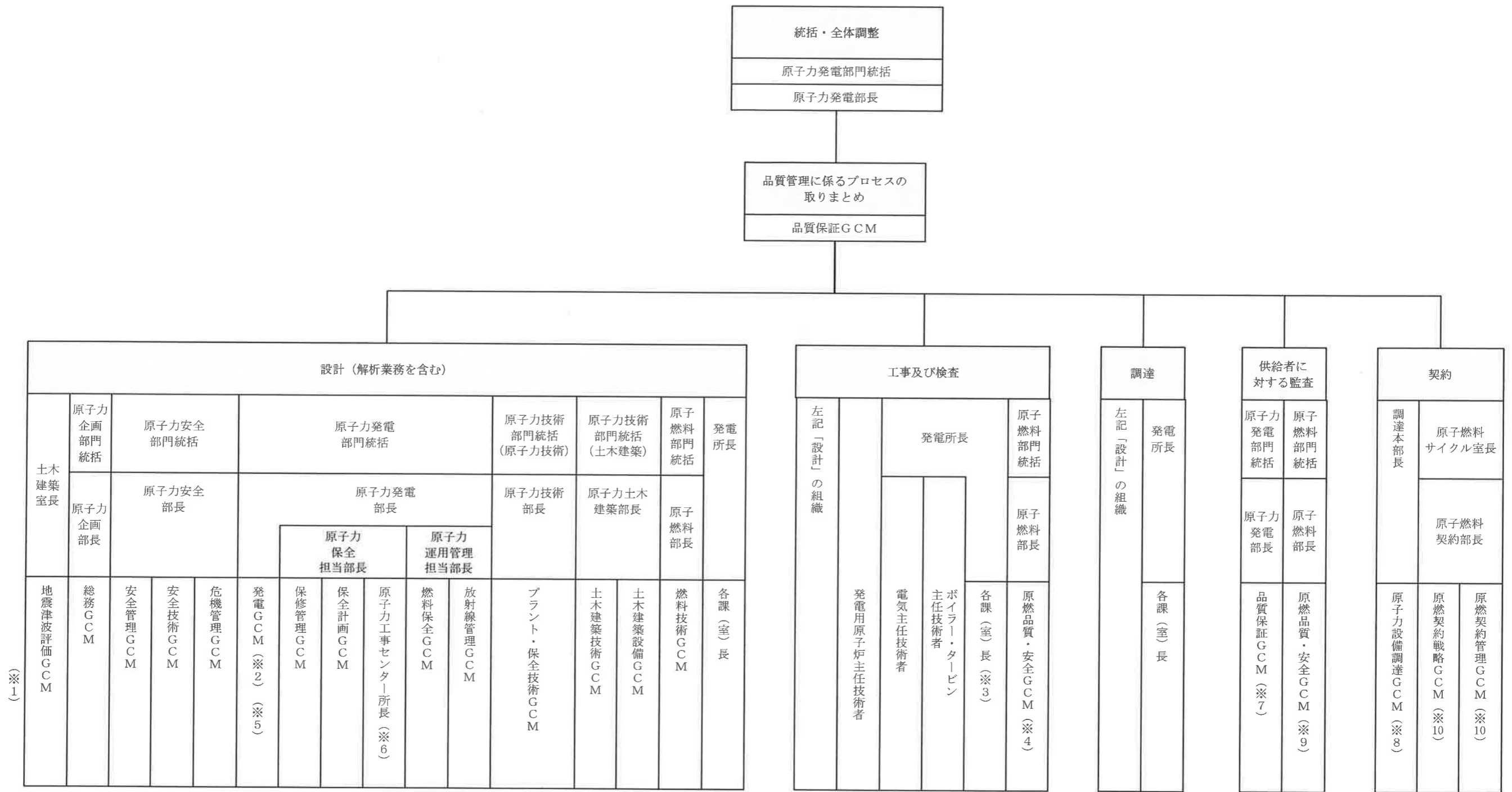
設工認に基づく検査は、第3.1-1表に示す主管箇所のうち、「3.5 使用前事業者検査の方法」に係る箇所が検査を担当する組織として実施する。

また、設工認に基づき実施した施設ごとの具体的な体制について、設工認に示す工事及び検査の段階ごとに様式-1に取りまとめる。

#### 3.1.3 調達に係る組織

設工認に基づく調達は、第3.1-1表に示す本店組織及び発電所組織の調達を主管する箇所で実施する。

また、設工認に基づき実施した施設ごとの具体的な体制について、設工認に示す設計、工事及び検査の段階ごとに様式-1に取りまとめる。



（※1）

※1：「G」は「グループ」、「CM」は「チーフマネジャー」をいう。  
 ※2：検査（主要な耐圧部の溶接部、燃料体を除く。）に係るプロセスの取りまとめを主管する箇所の長（発電所組織においては、技術課長とする。）  
 ※3：主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査に係るプロセスの取りまとめを主管する箇所の長  
 ※4：燃料体検査に係るプロセスの取りまとめを主管する箇所の長  
 ※5：設工認申請書の提出手続きを主管する箇所の長  
 ※6：設工認申請書の取りまとめを主管する箇所の長（設計における変更において原子力工事センター所長が設計を主管する箇所とならない場合は、当該変更に係る設計を主管する箇所の長の代表者とする。）  
 ※7：定期的な請負会社品質監査以外の監査においては、各GCM、センター所長又は各課（室）長  
 ※8：これ以外の箇所で行う契約においては、各GCM、センター所長又は各課（室）長  
 ※9：原子燃料関係の調達先の監査  
 ※10：原子燃料関係の契約

第3.1-1図 適合性確認に関する体制表

第3.1-1表 設計及び工事の実施の体制

プロセス	主管箇所
3.3 設計に係る品質管理の方法	本店 土木建築室 本店 原子力企画部門 本店 原子力安全部門 本店 原子力発電部門 本店 原子力技術部門 本店 原子燃料部門 発電所 安全・防災室 発電所 所長室 発電所 技術課 発電所 原子燃料課 発電所 放射線管理課 発電所 保全計画課 発電所 電気保修課 発電所 計装保修課 発電所 原子炉保修課 発電所 タービン保修課 発電所 土木建築課 発電所 電気工事グループ 発電所 機械工事グループ 発電所 土木建築工事グループ
3.4 工事に係る品質管理の方法 3.5 使用前事業者検査の方法	本店 土木建築室 本店 原子力企画部門 本店 原子力安全部門 本店 原子力発電部門 本店 原子力技術部門 本店 原子燃料部門 発電所 品質保証室 発電所 安全・防災室 発電所 所長室 発電所 技術課 発電所 原子燃料課 発電所 放射線管理課 発電所 発電室 発電所 保全計画課 発電所 電気保修課 発電所 計装保修課 発電所 原子炉保修課 発電所 タービン保修課 発電所 土木建築課 発電所 電気工事グループ 発電所 機械工事グループ 発電所 土木建築工事グループ
3.6 設工認における調達管理の方法	本店 土木建築室 本店 原子力企画部門 本店 原子力安全部門 本店 原子力発電部門 本店 原子力技術部門 本店 原子燃料部門 発電所 安全・防災室 発電所 所長室 発電所 技術課 発電所 原子燃料課 発電所 放射線管理課 発電所 電気保修課 発電所 計装保修課 発電所 原子炉保修課 発電所 タービン保修課 発電所 土木建築課 発電所 電気工事グループ 発電所 機械工事グループ 発電所 土木建築工事グループ

## 3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査

### 3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用

設工認における設計は、設工認申請（届出）時点で設置されている設備を含めた設工認対象設備に対し、第3.2-1表に示す「設工認における設計、工事及び検査の各段階」に従って技術基準規則等の要求事項への適合性を確保するために実施する工事の設計である。

この設計は、設工認品質管理計画「3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用」（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」参照）に示すグレード分けに従い管理を実施する。

### 3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査

設工認における設計、工事及び検査の各段階と保安規定品質マネジメントシステム計画との関係を第3.2-1表に示す。

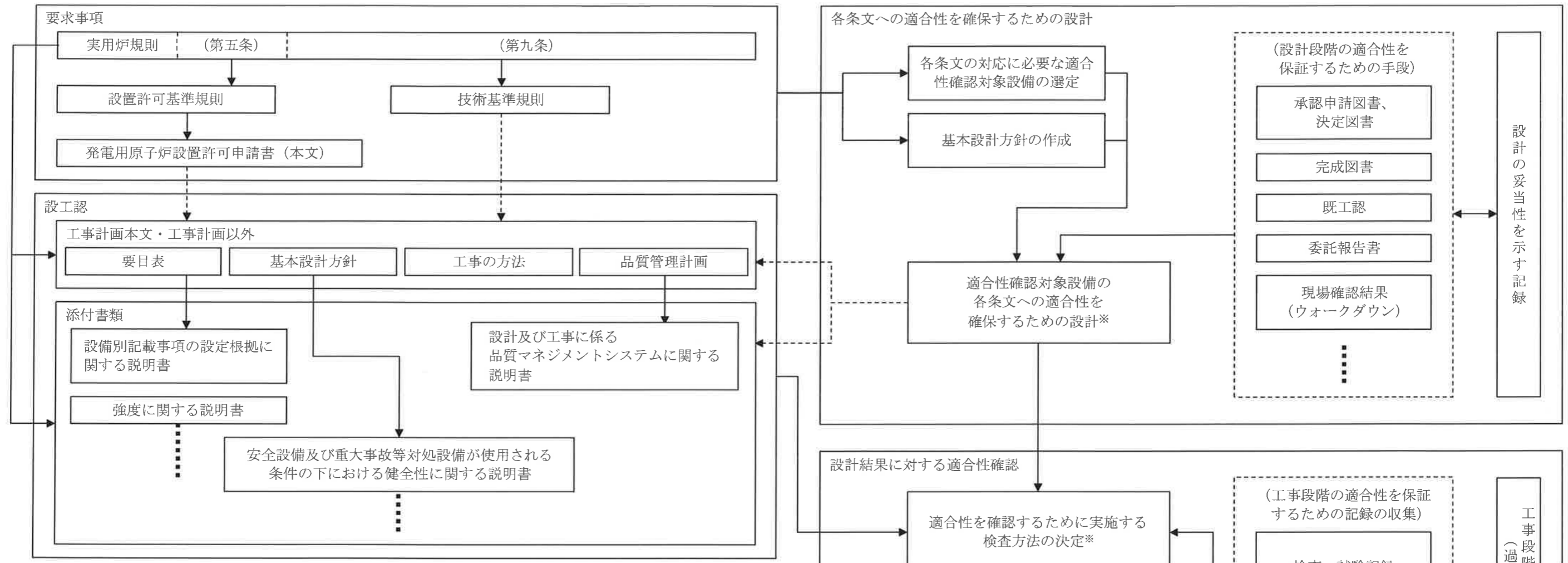
また、適合性確認に必要な作業と検査の繋がりを第3.2-1図に示す。

なお、実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認申請（届出）が不要な工事を行う場合は、設工認品質管理計画のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認する。

設計又は工事を主管する箇所の長並びに検査を担当する箇所の長は、第3.2-1表に示す「保安規定品質マネジメントシステム計画の対応項目」ごとのアウトプットに対する審査（以下「レビュー」という。）を実施するとともに、記録を管理する。

なお、設計の各段階におけるレビューについては、第3.1-1表に示す設計及び工事を主管する組織の中で当該設備の設計に関する専門家を含めて実施する。

設工認のうち、主要な耐圧部の溶接部に対する必要な検査は、「3.3 設計に係る品質管理の方法」、「3.4 工事に係る品質管理の方法」、「3.5 使用前事業者検査の方法」及び「3.6 設工認における調達管理の方法」に示す管理（第3.2-1表における「3.3.3(1) 基本設計方針の作成（設計1）」～「3.6 設工認における調達管理の方法」）のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認する。



※：基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表

発電用原子炉施設の種別			項目番号	1			～
〇〇施設			基本設計方針	～に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。			～
			要求種別	評価要求			～
設備区分	機器区分	関連条文	設備名称	設工認設計結果 (上：要目表/設計方針) (下：記録等)	設備の具体的設計結果 (上：設計結果) (下：記録等)	確認方法	～
～設備	ポンプ	〇〇条	恒設代替 低圧注水ポンプ	設置許可で確認した地盤 上の〇〇建屋内に設置	・・・	据付検査 ・・・ ・・・	～
				・・・	・・・		～
・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	・・・	～

第 3.2-1 図 適合性確認に必要な作業と検査の繋がり

第 3.2-1 表 設工認における設計、工事及び検査の各段階

各段階		保安規定品質マネジメントシステム計画の対応項目	概要
設計	3.3	設計に係る品質管理の方法	7.3.1 設計開発計画 適合性を確保するために必要な設計を実施するための計画
	3.3.1	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	7.3.2 設計開発に用いる情報 設計に必要な技術基準規則等の要求事項の明確化 技術基準規則等に対応するための設備・運用の抽出
	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	
	3.3.3(1) ※	基本設計方針の作成（設計1）	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 要求事項を満足する基本設計方針の作成
	3.3.3(2) ※	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 適合性確認対象設備に必要な設計の実施
	3.3.3(3)	設計のアウトプットに対する検証	7.3.5 設計開発の検証 基準適合性を確保するための設計の妥当性のチェック
	3.3.4 ※	設計における変更	7.3.7 設計開発の変更の管理 設計対象の追加や変更時の対応
工事及び検査	3.4.1 ※	設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 7.3.5 設計開発の検証 設工認を実現するための具体的な設計
	3.4.2	具体的な設備の設計に基づく工事の実施	— 適合性確認対象設備の工事の実施
	3.5.1	使用前事業者検査での確認事項	— 適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していること
	3.5.2	使用前事業者検査の計画	— 適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであることを確認する計画と方法の決定
	3.5.3	検査計画の管理	— 使用前事業者検査を実施する際の工程管理
	3.5.4	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理	— 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査を実施する際のプロセスの管理
	3.5.5	使用前事業者検査の実施	7.3.6 設計開発の妥当性確認 8.2.4 機器等の検査等 適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであることを確認
調達	3.6	設工認における調達管理の方法	7.4 調達 8.2.4 機器等の検査等 適合性確認に必要な、設計、工事及び検査に係る調達管理

※：「3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査」で述べている「設計の各段階におけるレビュー」の各段階を示す。

### 3.3 設計に係る品質管理の方法

設計を主管する箇所の長は、設工認における技術基準規則等への適合性を確保するための設計として、「要求事項の明確化」、「適合性確認対象設備の選定」、「基本設計方針の作成」及び「適合性を確保するための設計」、「設計のアウトプットに対する検証」の各段階を実施する。

以下に各段階の活動内容を示す。

#### 3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化

設計を主管する箇所の長は、以下の事項により、設工認に必要な要求事項を明確にする。

- ・「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）」（以下「設置許可基準規則」という。）に適合しているとして許可された「美浜発電所発電用原子炉設置変更許可申請書」（以下「設置変更許可申請書」という。）
- ・技術基準規則

また、必要に応じて以下を参照する。

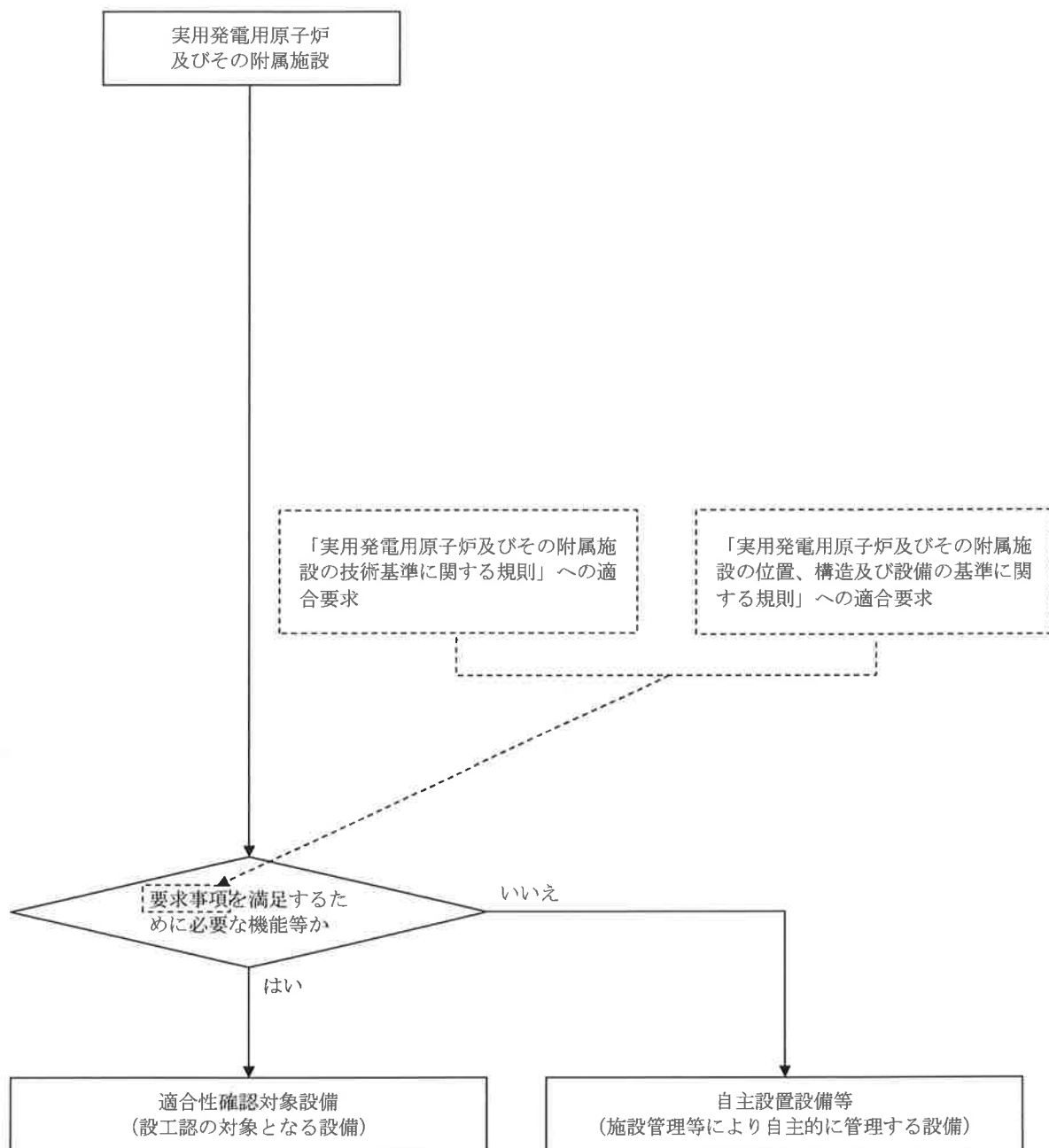
- ・許可された設置変更許可申請書の添付書類
- ・設置許可基準規則の解釈
- ・技術基準規則の解釈

#### 3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定

設計を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備に対する技術基準規則への適合性を確保するため、設置変更許可申請書に記載されている設備及び技術基準規則への対応に必要な設備（運用を含む。）を、実際に使用する際の系統又は構成で必要となる設備を含めた適合性確認対象設備として以下に従って抽出する。

適合性確認対象設備を明確にするため、設工認に関連する工事において追加・変更となる設備・運用のうち、設工認の対象となる設備・運用を、要求事項への適合性を確保するために実際に使用する際の系統・構成で必要となる設備・運用を考慮しつつ第3.3-1図に示すフローに基づき抽出する。

抽出した結果を様式-2(1/2)～(2/2)「設備リスト(例)」(以下「様式-2」という。)の該当する条文の設備等欄に整理するとともに、設備/運用、既設/新設、要求事項に対して必須の設備・運用の有無、実用炉規則 別表第二の記載対象設備に該当の有無、既工認での記載の有無、実用炉規則 別表第二に関連する施設区分/設備区分及び設置変更許可申請書添付八主要設備記載の有無を明確にする。



第3. 3-1図 適合性確認対象設備の抽出について



### 3.3.3 設工認における設計及び設計のアウトプットに対する検証

設計を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備の技術基準規則等への適合性を確保するための設計を以下のとおり実施する。

- ・「設計1」として、技術基準規則等の適合性確認対象設備に必要な要求事項を基に、必要な設計を漏れなく実施するための基本設計方針を明確化する。
- ・「設計2」として、「設計1」の結果を用いて適合性確認対象設備に必要な詳細設計を実施する。
- ・「設計1」及び「設計2」の結果を用いて、設工認に必要な書類等を作成する。
- ・「設計のアウトプットに対する検証」として、「設計1」及び「設計2」の結果について、検証を実施する。

これらの具体的な活動を以下のとおり実施する。

#### (1) 基本設計方針の作成（設計1）

設計を主管する箇所の長は、様式-2で整理した適合性確認対象設備に対する詳細設計を「設計2」で実施するに先立ち、技術基準規則等の適合性確認対象設備に必要な要求事項に対する設計を漏れなく実施するために、以下により適合性確認対象設備ごとに適用される技術基準規則の条項号を明確にするとともに、技術基準規則の条文ごとに各条文に関連する要求事項を用いて設計項目を明確にした基本設計方針を作成する。

#### a. 適合性確認対象設備と適用条文の整理

設計を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備の技術基準規則への適合に必要な設計を確実に実施するため、以下により、適合性確認対象設備ごとに適用される技術基準規則の条文を明確にする。

- (a) 技術基準規則の条文ごとに各施設との関係を明確にし、明確にした結果とその理由を、様式-3「技術基準規則の各条文と各施設における適用要否の考え方（例）」（以下「様式-3」という。）の「適用要否判断」欄及び「理由」欄に取りまとめる。
- (b) 様式-3に取りまとめた結果を、様式-4(1/2)～(2/2)「施設と条文の対比一覧表（例）」（以下「様式-4」という。）の該当箇所の星取りにて取りまとめることにより、施設ごとに適用される技術基準規則の条文を明確にする。
- (c) 様式-2で明確にした適合性確認対象設備を実用炉規則別表第二の設備区分ごとに、様式-5「設工認添付書類星取表（例）」（以下「様式-5」という。）で機

器として整理する。

また、様式-4で取りまとめた結果を用いて、設備ごとに適用される技術基準規則の条番号を明確にし、技術基準規則の各条番号と設工認との関連性を含めて、様式-5で整理する。

b. 技術基準規則条文ごとの基本設計方針の作成

設計を主管する箇所の長は、以下により、技術基準規則等の適合性確認対象設備に必要な要求事項を具体化し、漏れなく適用していくための基本設計方針を技術基準規則の条文ごとに作成する。

なお、基本設計方針の作成に当たっての統一的な考え方を添付2「技術基準規則ごとの基本設計方針の作成に当たっての基本的な考え方」に示す。

- (a) 様式-7「要求事項との対比表（例）」（以下「様式-7」という。）に、基本設計方針の作成に必要な情報として、技術基準規則の各条文及びその解釈、並びに関係する設置変更許可申請書本文及びその添付書類に記載されている内容を原文のまま引用し、その内容を見ながら、設計すべき項目を基本設計方針として漏れなく作成する。
- (b) 基本設計方針の作成に併せて、基本設計方針として記載する事項及びそれらの設工認申請書の添付書類作成の考え方（理由）、基本設計方針として記載しない場合の考え方、並びに詳細な検討が必要な事項として含めるべき実用炉規則別表第二に示された添付書類との関係を明確にし、それらを様式-6「各条文の設計の考え方（例）」（以下「様式-6」という。）に取りまとめる。
- (c) (a)及び(b)で作成した条文ごとの基本設計方針を整理した様式-7及び基本設計方針作成時の考え方を整理した様式-6、並びに各施設に適用される技術基準規則の条文を明確にした様式-4を用いて、施設ごとの基本設計方針を作成する。
- (d) 作成した基本設計方針を基に、抽出した適合性確認対象設備に対する耐震重要度分類、機器クラス、兼用する際の登録の考え方及び当該適合性確認対象設備に必要な設工認申請書の添付書類との関連性を様式-5で明確にする。

(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）

設計を主管する箇所の長は、様式-2で整理した適合性確認対象設備に対し、変更があった要求事項への適合性を確保するための詳細設計を、「設計1」の結果を用いて実施する。

a. 基本設計方針の整理

設計を主管する箇所の長は、基本設計方針（「3.3.3(1) 基本設計方針の作成」参照）に基づく設計の実施に先立ち、基本設計方針に従った設計を漏れなく実施するため、基本設計方針の内容を以下の流れで分類し、技術基準規則への適合性の確保が必要な要求事項を整理する。

- (a) 条文ごとに作成した基本設計方針を設計項目となるまとまりごとに整理する。
- (b) 整理した設計方針を分類するためのキーワードを抽出する。
- (c) 抽出したキーワードを基に要求事項を第3.3-1表に示す要求種別に分類する。
- (d) 分類した結果を、設計項目となるまとまりごとに、様式-8「基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表（例）」（以下「様式-8」という。）の「基本設計方針」欄に整理する。
- (e) 設工認の設計に不要な以下の基本設計方針を、様式-8の該当する基本設計方針に網掛けすることにより区別し、設計が必要な要求事項に変更があった条文に対応した基本設計方針を明確にする。
  - ・ 定義（基本設計方針で使用されている用語の説明）
  - ・ 冒頭宣言（設計項目となるまとまりごとの概要を示し、冒頭宣言以降の基本設計方針で具体的な設計項目が示されているもの）
  - ・ 規制要求に変更のない既設設備に適用される基本設計方針（既設設備のうち、過去に当該要求事項に対応するための設計が行われており、様式-4及び様式-5で従来の技術基準規則から変更がないとした条文に対応した基本設計方針）
  - ・ 適合性確認対象設備に適用されない基本設計方針（当該適合性確認対象設備に適用されず、設計が不要となる基本設計方針）

- b. 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（対象設備の仕様を含む。）

設計を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備を技術基準規則に適合したものとするために、以下により、必要な詳細設計を実施する。

また、具体的な設計の流れを第3.3-2図に示す。

- (a) 第3.3-1表に示す「要求種別」ごとの「主な設計事項」に示す内容について、「3.7.1 文書及び記録の管理」で管理されている設備図書等の記録をインプットとして、基本設計方針に対し、適合性確認対象設備が技術基準規則等への必要な設計要求事項の適合性を確保するために必要な詳細設計の方針（要求機能、性能目標、防護方針等を含む。）を定めるための設計を実施する。

- (b) 様式-6で明確にした詳細な検討を必要とした事項を含めて詳細設計を実施するとともに、以下に該当する場合は、その内容に従った詳細設計を実施する。

4. 評価を行う場合

詳細設計として評価（解析を含む。）を実施する場合は、基本設計方針を基に詳細な評価方針及び評価方法を定めた上で、評価を実施する。

また、評価の実施において、解析を行う場合は、「3.3.3(2)c. 詳細設計の品質を確保する上で重要な活動の管理」に基づく管理により品質を確保する。

ロ. 複数の機能を兼用する設備の設計を行う場合

複数の機能（施設間を含む。）を兼用する設備の設計を行う場合は、兼用するすべての機能を踏まえた設計を確実に実施するため、組織間の情報伝達を確実に実施し、兼用する機能ごとの系統構成を把握し、兼用する機能を集約した上で、兼用するすべての機能を満たすよう設計を実施する。

ハ. 設備設計を他設備の設計に含めて設計を行う場合

設備設計を他設備の設計に含めて設計を行う場合は、設計が行われることを確実にするために、組織間の情報伝達を確実に実施し、設計をまとめて実施する側で複数の対象を考慮した設計を実施したのち、設計を委ねた側においても、その設計結果を確認する。

ニ. 他号機と共用する設備の設計を行う場合

他号機と共用する設備の設計を行う場合は、設計が確実に行われることを確実にするため、組織間の情報伝達を確実に実施し、号機ごとの設計範囲を明確にし、必要な設計が確実に行われるよう管理する。

上記イ～ニの場合において、設計の妥当性を検証し、詳細設計方針を満たすことを確認するために検査を実施しなければならない場合は、条件及び方法を定めた上で実施する。

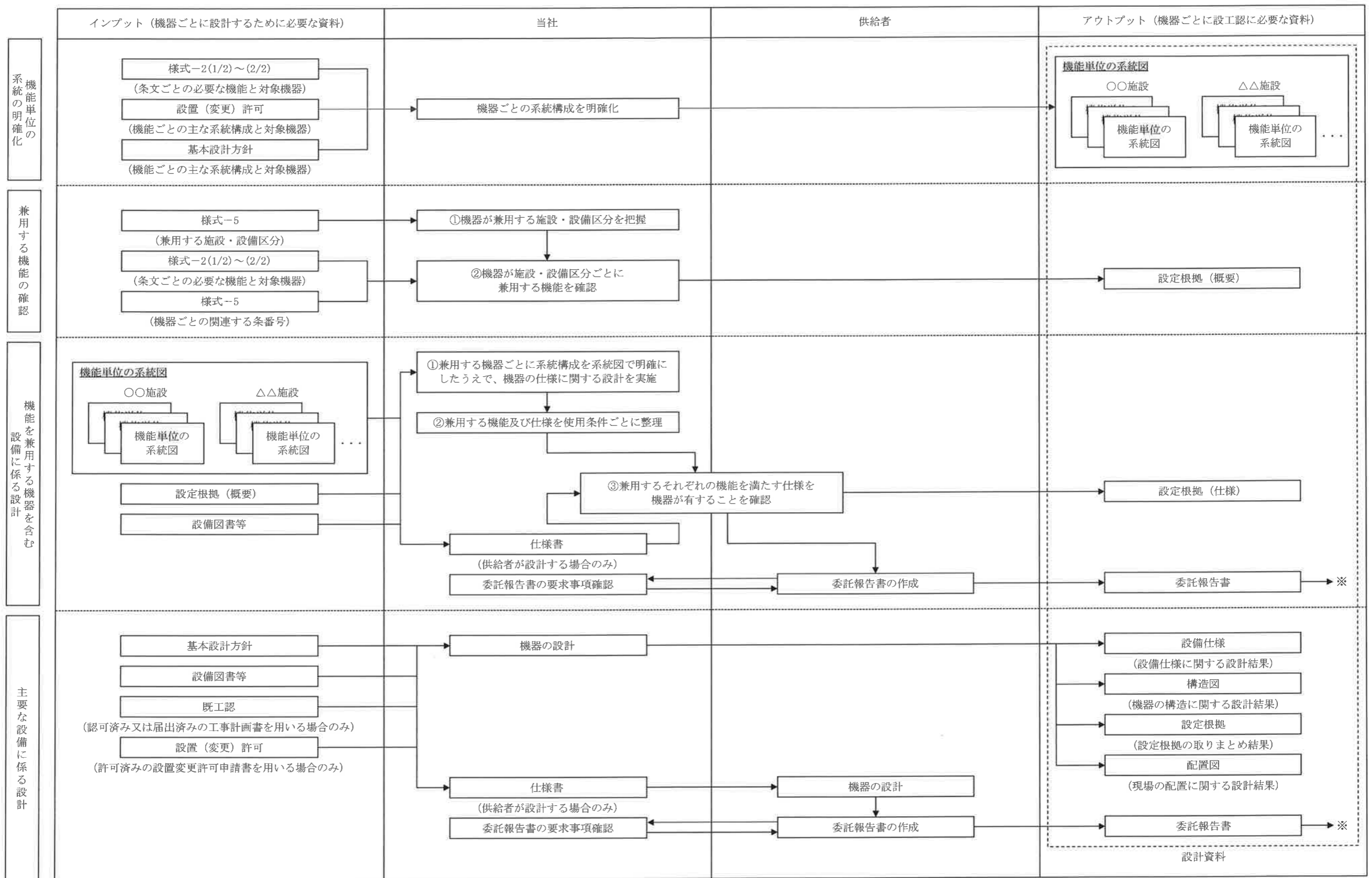
また、これらの設計として実施したプロセスを様式-1に取りまとめるとともに、設計結果を、様式-8の「設工認設計結果（要目表／設計方針）」欄に整理する。

- (c) 第3.3-1表に示す要求種別のうち「運用要求」に分類された基本設計方針については、基本設計方針を作成した箇所の長にて、保安規定に必要な対応を取りまとめる。

第3.3-1表 要求種別ごとの適合性の確保に必要な主な設計事項と

その妥当性を示すための記録との関係

要求種別			主な設計事項	設計方針の妥当性を示す記録	
設備	設計要求	設置要求	目的とする機能・性能を有する設備の選定 配置設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計資料</li> <li>設備図書（図面、構造図、仕様書）</li> </ul> 等	
		機能要求	目的とする機能・性能を実際に発揮させるために必要な具体的な系統構成・設備構成	設置変更許可申請書の記載を基にした、実際に使用する系統構成・設備構成の決定	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計資料</li> <li>系統図</li> <li>設備図書（図面、構造図、仕様書）</li> </ul> 等
			目的とする機能・性能を実際に発揮させるために必要な設備の具体的な仕様	仕様設計 構造設計 強度設計（クラスに応じて）	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計資料</li> <li>設備図書（図面、構造図、仕様書）</li> <li>インターロック線図</li> <li>算出根拠（計算式等）</li> <li>カタログ</li> </ul> 等
		評価要求	対象設備が目的とする機能・性能を持つことを示すための方法とそれに基づく評価	仕様決定のための解析 条件設定のための解析 実証試験 技術基準規則に適合していることの確認のための解析（耐震評価、耐環境評価）	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計資料</li> <li>有効性評価結果（設置変更許可申請書での安全解析の結果を含む。）</li> <li>解析計画（解析方針）</li> <li>委託報告書（解析結果）</li> <li>手計算結果</li> </ul> 等
運用	運用要求	保安規定で定める必要がある運用方法とそれに基づく計画	維持又は運用のための計画の作成	—	



※：委託報告書の図面等を設計のインプットとして使用する場合は、当社が承認したのち、設備図書等として取り扱う。  
 また、供給者が工事にて設計を実施した場合は、委託報告書を総括報告書に読み替える。

第 3.3-2 図 主要な設備の設計

c. 詳細設計の品質を確保する上で重要な活動の管理

設計を主管する箇所の長は、詳細設計の品質を確保する上で重要な活動となる、「調達による解析」及び「手計算による自社解析」について、以下の活動を実施し、品質を確保する。

(a) 調達による解析の管理

基本設計方針に基づく詳細設計で解析を実施する場合は、解析結果の信頼性を確保するため、設工認品質管理計画に基づく品質保証活動を行う上で、特に以下の点に配慮した活動を実施し、品質を確保する。

4. 調達による解析

調達により解析を実施する場合は、解析の信頼性を確保するために、供給者に対し、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（平成26年3月 一般社団法人原子力安全推進協会）」を反映した以下に示す管理を確実にするための品質マネジメントシステム体制の構築等に関する調達要求事項を仕様書により要求し、それに従った品質マネジメントシステム体制のもとで解析を実施させるよう「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達管理を実施する。

なお、解析の調達管理に関する具体的な流れを添付3「設工認における解析管理について」の「別図1」に示す。

(イ) 解析業務を実施するに当たり、あらかじめ解析業務の計画を策定し、解析業務実施計画書等により文書化する。

なお、解析業務の計画には、以下に示す事項の計画を明確にする。

- ・解析業務の作業手順（デザインレビュー、審査方法、時期等を含む。）
- ・使用する計算機プログラムとその検証結果※

※：解析業務実施計画書の作成段階で、使用する計算機プログラムの検証が完了していない場合は、計算機プログラムの検証計画を解析業務実施計画書に記載し当社に提出させ、また計算機プログラム検証後にその結果を当社へ提出させる。

- ・解析業務の実施体制
- ・解析結果の検証
- ・委託報告書の確認
- ・解析業務の変更管理

- ・記録の保管管理

(ロ) 解析業務に係る必要な力量を定めるとともに、従事する要員（原解析者・検証者）は必要な力量を有した者とする。

ロ. 計算機プログラム（解析コード）の管理

計算機プログラムは、評価目的に応じた解析結果を保証するための重要な役割を持っていることから、使用実績や使用目的に応じ、計算機プログラムが適正なものであることを以下のような方法により検証し、使用する。

- ・簡易的なモデルによる解析解の検算
- ・標準計算事例を用いた解析による検証
- ・実験又はベンチマーク試験結果との比較
- ・他の計算機プログラムによる計算結果との比較 等

ハ. 解析業務で用いる入力情報の伝達

当社は供給者に対し調達管理に基づく品質マネジメントシステム上の要求事項として、ISO9001の要求事項に従った文書及び記録の管理の実施を要求し、適切な版を管理することを要求する。

これにより、設工認に必要な解析業務のうち、設備又は土木建築構造物を設置した供給者と同一の供給者が主体となって解析を実施する場合は、解析を実施する供給者が所有する図面とそれを基に作成され納入されている当社所有の設備図書で、同じ最新性を確保する。

また、設備を設置した供給者以外の供給者にて解析を実施する場合は、当社で管理している図面を供給者に提供することで、供給者に最新性が確保された図面で解析を実施させる。

ニ. 入力根拠の作成

供給者に、解析業務実施計画書等に基づき解析ごとの入力根拠を明確にした入力根拠書を作成させ、また計算機プログラムへの入力間違いがないか確認させることで、入力根拠の妥当性及び入力データが正しく入力されたことの品質を確保する。

(b) 手計算による自社解析

自社で実施する解析（手計算）は、評価を実施するために必要な計算方法及び入力データを明確にした上で、当該業務の力量を持つ要員が実施する。



また、実施した解析結果に間違いがないようにするために、入力根拠、入力結果及び解析結果について、解析を実施した者以外の者によるダブルチェックを実施し、解析結果の信頼性を確保する。

### (3) 設計のアウトプットに対する検証

設計を主管する箇所の長は、「3.3.3 設工認における設計及び設計のアウトプットに対する検証」の「設計1」及び「設計2」で取りまとめた様式-8を設計のアウトプットとして、これが設計のインプット（「3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化」及び「3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定」参照）で与えられた要求事項に対する適合性を確認した上で、要求事項を満たしていることの検証を、組織の要員に指示する。

なお、この検証は適合性確認を実施した者の業務に直接関与していない上位職位の者に実施させる。

### (4) 設工認申請（届出）書の作成

設計を主管する箇所の長は、設工認の設計として実施した「3.3.3(1) 基本設計方針の作成（設計1）」及び「3.3.3(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）」からのアウトプットを基に、設工認に必要な書類等を以下のとおり取りまとめる。

#### a. 要目表の作成

設計を主管する箇所の長は、「3.3.3(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）」の設計結果及び図面等の設計資料を基に、実用炉規則別表第二の「記載すべき事項」の要求に従って、必要な事項（種類、主要寸法、材料、個数等）を設備ごとに表（要目表）又は図面等に取りまとめる。

#### b. 施設ごとの基本設計方針のまとめ

設計を主管する箇所の長は、「3.3.3(1)b. 技術基準規則条文ごとの基本設計方針の作成」で作成した施設ごとの基本設計方針を基に、実用炉規則別表第二に示された発電用原子炉施設の施設ごとの基本設計方針としてまとめ直すことにより、設工認として必要な基本設計方針を作成する。

また、技術基準規則に規定される機能・性能を満足させるための基本的な規格及び基準を、「適用基準及び適用規格」として取りまとめる。

c. 工事の方法の作成

設計を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備等が、期待される機能を確実に発揮することを示すため、当該工事の手順並びに使用前事業者検査の項目及び方法を記載するとともに、工事中の従事者及び公衆に対する放射線管理や他の設備に対する悪影響防止等の観点から特に留意すべき事項を「工事の方法」として取りまとめる。

d. 各添付書類の作成

設計を主管する箇所の長は、「3.3.3(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）」の設計結果及び図面等の設計資料を基に、基本設計方針に対する詳細設計の結果、及び設計の妥当性に関する説明が必要な事項を取りまとめた様式-6及び様式-7を用いて、実用炉規則別表第二に示された添付書類を作成する。

なお、実用炉規則別表第二に示された添付書類において、解析コードを使用している場合には、添付書類の別紙として「計算機プログラム（解析コード）の概要」を作成する。

e. 設工認申請書案のチェック

設計を主管する箇所の長は、作成した設工認申請書案について、要員を指揮して、以下の要領でチェックする。

- (a) 設計を主管する箇所でのチェック分担を明確にしてチェックする。
- (b) チェックの結果としてコメントが付されている場合は、その反映要否を検討し、必要に応じ資料を修正した上で、再度チェックする。
- (c) 必要に応じこれらを繰り返し、設工認申請書案のチェックを完了する。

(5) 設工認申請（届出）書の承認

「3.3.3(3) 設計のアウトプットに対する検証」及び「3.3.3(4)e. 設工認申請書案のチェック」を実施した設工認申請書案について、設工認申請書の取りまとめを主管する箇所の長は、設計を主管する箇所の長が作成した資料を取りまとめ、原子力発電安全委員会へ付議し、審議及び確認を得る。

また、設工認申請書の提出手続きを主管する箇所の長は、原子力発電安全委員会の審議及び確認を得た設工認申請書について、原子力規制委員会及び経済産業大臣への提出手続きを承認する。

### 3.3.4 設計における変更

設計を主管する箇所の長は、設計対象の追加又は変更が必要となった場合、「3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化」～「3.3.3 設工認における設計及び設計のアウトプットに対する検証」の各設計結果のうち、影響を受けるものについて必要な設計を実施し、影響を受けた段階以降の設計結果を必要に応じ修正する。

## 3.4 工事に係る品質管理の方法

工事を主管する箇所の長は、設工認に基づく具体的な設備の設計の実施及びその結果を反映した設備を導入するために必要な工事を、「3.6 設工認における調達管理の方法」の管理を適用して実施する。

### 3.4.1 設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）

工事を主管する箇所の長は、工事段階において、以下のいずれかの方法で、設工認を実現するための具体的な設計（設計3）を実施し、決定した具体的な設備の設計結果（既に工事を着手し設置を終えている設備について、既に実施された具体的な設計の結果が設工認に適合していることを確認することを含む。）を様式-8の「設備の具体的設計結果」欄に取りまとめる。

#### (1) 自社で設計する場合

本店組織又は発電所組織の工事を主管する箇所の長は、「設計3」を実施する。

#### (2) 「設計3」を本店組織の工事を主管する箇所の長が調達し発電所組織の工事を主管する箇所の長が調達管理として「設計3」を管理する場合

本店組織の工事を主管する箇所の長は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達により「設計3」を実施する。

また、発電所組織の工事を主管する箇所の長は、その調達の中で供給者が実施する「設計3」の管理を、調達管理として詳細設計の検証及び妥当性確認を行うことにより管理する。

#### (3) 「設計3」を発電所組織の工事を主管する箇所の長が調達しかつ調達管理として「設計3」を管理する場合

発電所組織の工事を主管する箇所の長は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達により「設計3」を実施する。

また、発電所組織の工事を主管する箇所の長は、その調達の中で供給者が実施する「設計3」の管理を、調達管理として詳細設計の検証及び妥当性確認を行うことにより管理する。

- (4) 「設計3」を本店組織の工事を主管する箇所の長が調達しかつ調達管理として「設計3」を管理する場合

本店組織の工事を主管する箇所の長は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達により「設計3」を実施する。

また、本店組織の工事を主管する箇所の長は、その調達の中で供給者が実施する「設計3」の管理を、調達管理として詳細設計の検証及び妥当性確認を行うことにより管理する。

#### 3.4.2 具体的な設備の設計に基づく工事の実施

工事を主管する箇所の長は、設工認に基づく設備を設置するための工事を、「工事の方法」に記載された工事の手順並びに「3.6 設工認における調達管理の方法」に従い実施する。

なお、この工事の中で使用前事業者検査を実施する場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達製品の検証の中で使用前事業者検査を含めて実施する。

また、設工認に基づき設置する設備のうち、既に工事を着手し設置を終えている設備については、以下のとおり取り扱う。

- (1) 既に工事を着手し設置を完了し調達製品の検証段階の適合性確認対象設備

設工認に基づく設備を設置する工事のうち、既に工事を着手し設置を完了して調達製品の検証段階の適合性確認対象設備については、「3.5 使用前事業者検査の方法」の段階から実施する。

- (2) 既に工事を着手し工事を継続している適合性確認対象設備

設工認に基づく設備を設置する工事のうち、既に工事を着手し工事を継続している適合性確認対象設備については、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従い、着手時点のグレードに応じた工事を継続して実施するとともに、「3.5 使用前事業者検査の方法」の段階から実施する。

なお、この工事の中で適合性確認を実施する場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達製品の検証の中で実施する。

### 3.5 使用前事業者検査の方法

使用前事業者検査は、適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認するため、保安規定に基づく使用前事業者検査を計画し、「検査・試験通達」に従い、工事実施箇所からの独立性を確保した検査体制のもと、実施する。

#### 3.5.1 使用前事業者検査での確認事項

使用前事業者検査は、適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認するために、以下の項目について検査を実施する。

①実設備の仕様の適合性確認

②実施した工事が、「3.4.1 設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）」及び「3.4.2 具体的な設備の設計に基づく工事の実施」に記載したプロセス並びに「工事の方法」のとおり行われていること。

これらの項目のうち、①を設工認品質管理計画の第3.5-1表に示す検査として、②を品質マネジメントシステムに係る検査（以下「QA検査」という。）として実施する。

②については工事全般に対して実施するものであるが、工事実施箇所が「3.5.4 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」を実施する場合は、工事実施箇所が実施する溶接に関するプロセス管理が適切に行われていることの確認をQA検査に追加する。

また、QA検査では上記②に加え、上記①のうち工事実施箇所が実施する検査の、記録（工事実施箇所が採取した記録・ミルシート等。）の信頼性確認（記録確認検査や抜取検査の信頼性確保）を行い、設工認に基づく検査の信頼性を確保する。

#### 3.5.2 使用前事業者検査の計画

検査を担当する箇所の長は、適合性確認対象設備が、認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認するため、技術基準規則に適合するよう実施した設計結果を取りまとめた様式-8に示された「設工認設計結果（要目表／設計方針）」欄ごとに設計の妥当性確認を含む使用前事業者検査を計画する。

使用前事業者検査は、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び方法並びに第3.3-1表の要求種別ごとに第3.5-1表に示す確認項目、確認視点及び主な検査項目を基に計画を策定する。

適合性確認対象設備のうち、技術基準規則上の措置（運用）に必要な設備についても、使用前事業者検査を計画する。

個々に実施する使用前事業者検査に加えてプラント運転に影響を及ぼしていないことを総合的に確認するため、特定の条文・様式－8 に示された「設工認設計結果（要目表／設計方針）」によらず、定格熱出力一定運転時の主要パラメータを確認することによる使用前事業者検査（負荷検査）の計画を必要に応じて策定する。

(1) 使用前事業者検査の方法の決定

検査を担当する箇所の長は、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び方法並びに第3.3-1表の要求種別ごとに定めた第3.5-1表に示す確認項目、確認視点、主な検査項目の考え方を使って、確認項目ごとに設計結果に関する具体的な検査概要及び判定基準を以下の手順により使用前事業者検査の方法として明確にする。第3.5-1表の検査項目ごとの概要及び判定基準の考え方を第3.5-2表に示す。

- a. 様式－8の「設工認設計結果（要目表／設計方針）」及び「設備の具体的設計結果」欄に記載された内容と該当する要求種別を基に、検査項目を決定する。
- b. 決定された検査項目より、第3.5-2表に示す「検査項目、検査概要、判定基準の考え方について（代表例）」及び「工事の方法」を参照し適切な検査方法を決定する。
- c. 決定した各設備に対する以下の内容を、様式－8の「確認方法」欄に取りまとめる。なお、「確認方法」欄では、以下の内容を明確にする。
  - (a) 検査項目
  - (b) 検査方法

第 3.5-1 表 要求事項に対する確認項目及び確認の視点

要求種別		確認項目	確認視点	主な検査項目	
設備	設計要求	設置要求	名称、取付箇所、個数、設置状態、保管状態	据付検査 状態確認検査 外観検査	
		機能要求	材料、寸法、耐圧・漏えい等の構造、強度に係る仕様(要目表)	要目表の記載どおりであることを確認する。	材料検査 寸法検査 建物・構築物構造検査 外観検査
			系統構成、系統隔離、可搬設備の接続性	実際に使用できる系統構成になっていることを確認する。	据付検査 状態確認検査 耐圧検査
			上記以外の所要の機能要求事項	目的とする機能・性能が発揮できることを確認する。	漏えい検査 特性検査 機能・性能検査
	評価要求	解析書のインプット条件等の要求事項	評価条件を満足していることを確認する。	内容に応じて、設置要求、機能要求の検査を適用	
運用	運用要求	手順確認	(保安規定) 手順化されていることを確認する。	状態確認検査	

第3.5-2表 検査項目、検査概要及び判定基準の考え方について（代表例）

検査項目	検査概要	判定基準の考え方
材料検査	・使用されている材料が設工認に記載のとおりであること、また関係規格 <sup>※1※2</sup> 等に適合することを、記録又は目視により確認する。	・使用されている材料が設工認に記載のとおりであること、また関係規格等に適合すること。
寸法検査	・主要寸法が設工認に記載の数値に対して許容範囲内であることを、記録又は目視により確認する。	・主要寸法が設工認に記載の数値に対して許容範囲内にあること。
外観検査	・有害な欠陥のないことを記録又は目視により確認する。	・機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥のないこと。
据付検査 (組立て及び据付け状態を確認する検査)	・常設設備の組立て状態並びに据付け位置及び状態が設工認に記載のとおりであることを、記録又は目視により確認する。	・設工認に記載のとおりに設置されていること。
耐圧検査	・技術基準規則の規定に基づく検査圧力で所定時間保持し、検査圧力に耐え、異常のないことを、記録又は目視により確認する。	・検査圧力に耐え、異常のないこと。
漏えい検査	・耐圧検査終了後、技術基準規則の規定に基づく検査圧力により漏えいの有無を、記録又は目視により確認する。	・検査圧力により著しい漏えいのないこと。
建物・構築物構造検査	・建物・構築物が設工認に記載のとおり製作され、組み立てられていること、また関係規格 <sup>※1※2</sup> 等に適合することを、記録又は目視により確認する。	・主要寸法が設工認に記載の数値に対して許容範囲内にあること、また関係規格等に適合すること。
機能・性能検査 特性検査	・系統構成確認検査 可搬型設備の実際に使用する系統構成及び可搬型設備等の接続が可能なことを、記録又は目視により確認する。	・実際に使用する系統構成になっていること。 ・可搬型設備等の接続が可能なこと。
	・運転性能検査、通水検査、系統運転検査、容量確認検査 設計で要求される機能・性能について、実際に使用する系統状態又は模擬環境により試運転等を行い、機器単体又は系統の機能・性能を、記録又は目視により確認する。	・実際に使用する系統構成になっていること。 ・目的とする機能・性能が発揮できること。
	・絶縁耐力検査 電気設備と大地との間に、試験電圧を連続して規定時間加えたとき、絶縁性能を有することを、記録（工場での試験記録等を含む。）又は目視により確認する。	・目的とする絶縁性能を有すること。
	・ロジック回路動作検査、警報検査、インターロック検査 電気設備又は計測制御設備について、ロジック確認、インターロック確認及び警報確認等を行い、設備の機能・性能又は特性を、記録又は目視により確認する。	・ロジック、インターロック及び警報が正常に動作すること。
	・外観検査 建物、構築物、非常用電源設備等の完成状態を、記録又は目視により確認する。	・機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥のないこと。 ・設工認に記載のとおりに設置されていること。
	・計測範囲確認検査、設定値確認検査 計測制御設備の計測範囲又は設定値を、記録（工場での校正記録等を含む。）又は目視により確認する。	・計測範囲又は設定値が許容範囲内であること。
状態確認検査	・設置要求における機器保管状態、設置状態、接近性、分散配置及び員数が、設工認に記載のとおりであることを、記録又は目視により確認する。	・機器保管状態、設置状態、接近性、分散配置及び員数が適切であること。
	・評価要求に対するインプット条件（耐震サポート等）との整合性確認を、記録又は目視により確認する。	・評価条件を満足していること。
	・運用要求における手順が整備され、利用できることを確認する。	・運用された手順が整備され、利用できること。
基本設計方針に係る検査 <sup>※3</sup>	・機器等が設工認に記載された基本設計方針に従って据付けられ、機能・性能を有していることを確認する。	・機器等が設工認に記載された基本設計方針に従って据付けられ、機能・性能を有していること。
QA 検査	・事業者が設工認に記載された品質管理の方法に従って、設計情報を工事に引継ぎ、工事の実施体制が確保されていることを確認する。	・事業者が設工認に記載された品質管理の方法に従って、設計情報を工事に引継ぎ、工事の実施体制が確保されていること。

※1：消防法及びJIS

※2：設計の際に採用した適用基準又は適用規格

※3：基本設計方針のうち、各検査項目で確認できない事項を対象とする。



### 3.5.3 検査計画の管理

検査に係るプロセスの取りまとめを主管する箇所の長は、使用前事業者検査を適切な段階で実施するため、関係箇所と調整の上、発電所全体の主要工程及び調達先の工事工程を加味した適合性確認の検査計画を作成し、使用前事業者検査の実施時期及び使用前事業者検査が確実に行われることを管理する。

なお、検査計画は、進捗状況に合わせて関係箇所と適宜調整を実施する。

### 3.5.4 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理

主要な耐圧部の溶接部に係る検査を担当する箇所の長は、溶接が特殊工程であることを踏まえ、工程管理等の計画を策定し、溶接施工工場におけるプロセスの適切性の確認及び監視を行う。

また、溶接継手に対する要求事項は、溶接部詳細一覧表（溶接方法、溶接材料、溶接施工法、熱処理条件、検査項目等）により管理し、これに係る関連図書を含め、業務の実施に当たって必要な図書を溶接施工工場に提出させ、それを審査、承認し、必要な管理を実施する。

### 3.5.5 使用前事業者検査の実施

使用前事業者検査は、「検査・試験通達」に基づき、検査要領書の作成、検査体制を確立して実施する。

#### (1) 使用前事業者検査の独立性確保

検査を担当する箇所の長は、組織的独立した箇所に検査の実施を依頼する。

#### (2) 使用前事業者検査の体制

使用前事業者検査の体制は、第3.5-1図を参考に検査要領書で明確にする。

なお、検査における役務は、以下のとおりとする。

##### a. 総括責任者

- ・発電所における保安に関する活動を統括するとともに、その業務遂行に係る品質保証活動を統括する。（燃料体に係る検査を除く。）
- ・燃料体の工事に関する活動を統括するとともに、その業務遂行に係る品質保証活動を統括する。（燃料体に係る検査に限る。）

##### b. 主任技術者

- ・検査内容、手法等に対して指導・助言を行うとともに、検査が適切に行われていることを確認する。

- ・ 検査要領書制定時の審査並びに検査要領書に変更が生じた場合には、変更内容を審査する。
- ・ 発電用原子炉主任技術者は、主に原子炉の核的特性や性能に係る事項等、原子炉の運転に関する保安の監督を行う。
- ・ ボイラー・タービン主任技術者は、主に機械設備の構造、機能及び性能に係る事項等、原子力設備の工事、維持及び運用（電氣的設備に係るものを除く。）に関する保安の監督を行う。
- ・ 電気主任技術者は、主に電気設備の構造、機能及び性能に係る事項等、電気工作物の工事、維持及び運用（電氣的設備）に関する保安の監督を行う。

c. 品質保証責任者

- ・ 品質マネジメントシステムの観点から、検査範囲、検査方法等の妥当性の確認を実施するとともに、検査要領書の制定又は改訂が適切に行われていることを審査する。（QA検査を除く。）

d. 検査実施責任者

- ・ 検査を担当する箇所の長からの依頼に基づき検査を実施する。
- ・ 検査要領書を制定する。また、検査要領書に変更が生じた場合には、変更内容を確認、承認し、関係者に周知する。
- ・ 検査員から報告された検査結果（合否判定）が技術基準規則に適合していることを最終確認し、若しくは自らが合否判定を実施し、リリース許可する。

e. 検査員

- ・ 検査実施責任者からの指示に従い、検査を実施する。
- ・ 検査要領書の判定基準に従い、立会い又は記録の確認により合否判定する。
- ・ 検査記録及び検査成績書を作成し、検査実施責任者へ報告する。

f. 助勢員

- ・ 検査実施責任者又は検査員からの指示に従い、検査に係る作業を行う。
- ・ 検査員の役務内容のうち、合否判定以外を行う。

(3) 使用前事業者検査の検査要領書の作成

検査を担当する箇所の長は、適合性確認対象設備が認可された設工認に記載された仕様及びプロセスのとおりであること、技術基準規則に適合していることを確認するため、「検査・試験通達」に基づき、「3.5.2(1) 使用前事業者検査の方法の決定」で決定した様式-8の「確認方法」欄で明確にした確認方法に従った使用前事業者検査を実施するための検査要領書を作成する。

また、検査を担当する箇所の長は、検査目的、検査場所、検査範囲、設備項目、

検査方法、判定基準、検査体制、不適合処置要領、検査手順、検査工程、検査用測定機器、検査成績書の事項等を記載した検査要領書を作成し、主任技術者（燃料体に係る検査を除く。）及び品質保証責任者（QA検査は除く。）の審査を経て検査実施責任者が制定する。

なお、検査要領書には使用前事業者検査の確認対象範囲として含まれる技術基準規則の条文を明確にするとともに、適合性確認対象設備ではない使用前事業者検査の対象を明確にする。

各検査項目における代替検査を行う場合、「3.5.5(4) 代替検査の確認方法の決定」に従い、代替による使用前事業者検査の方法を決定する。

#### (4) 代替検査の確認方法の決定

##### a. 代替検査の条件

代替検査を用いる場合は、通常の方法で検査ができない場合であり、例えば以下の場合をいう。

- ・ 耐圧検査で圧力を加えることができない場合
- ・ 構造上外観が確認できない場合
- ・ 系統に実注入ができない場合
- ・ 電路に通電できない場合
- ・ 当該検査対象の品質記録（要求事項を満足する記録）がない場合（プロセス評価を実施し検査の成立性を証明する必要がある場合）※

※：「当該検査対象の品質記録（要求事項を満足する記録）がない場合（プロセス評価を実施し検査の成立性を証明する必要がある場合）」とは、以下の場合をいう。

- ・ 材料検査で材料検査証明書（ミルシート）がない場合
- ・ 寸法検査記録がなく、実測不可の場合

##### b. 代替検査の評価

検査を担当する箇所の長は、代替検査による確認方法を用いる場合、本来の検査目的に対する代替性の評価を実施し、その結果を「3.5.5(3) 使用前事業者検査の検査要領書の作成」で作成する検査要領書の一部として添付し、該当する主任技術者による審査を経て適用する。

なお、検査目的に対する代替性の評価においては、以下の内容を明確にする。

- ・ 設備名称
- ・ 検査項目

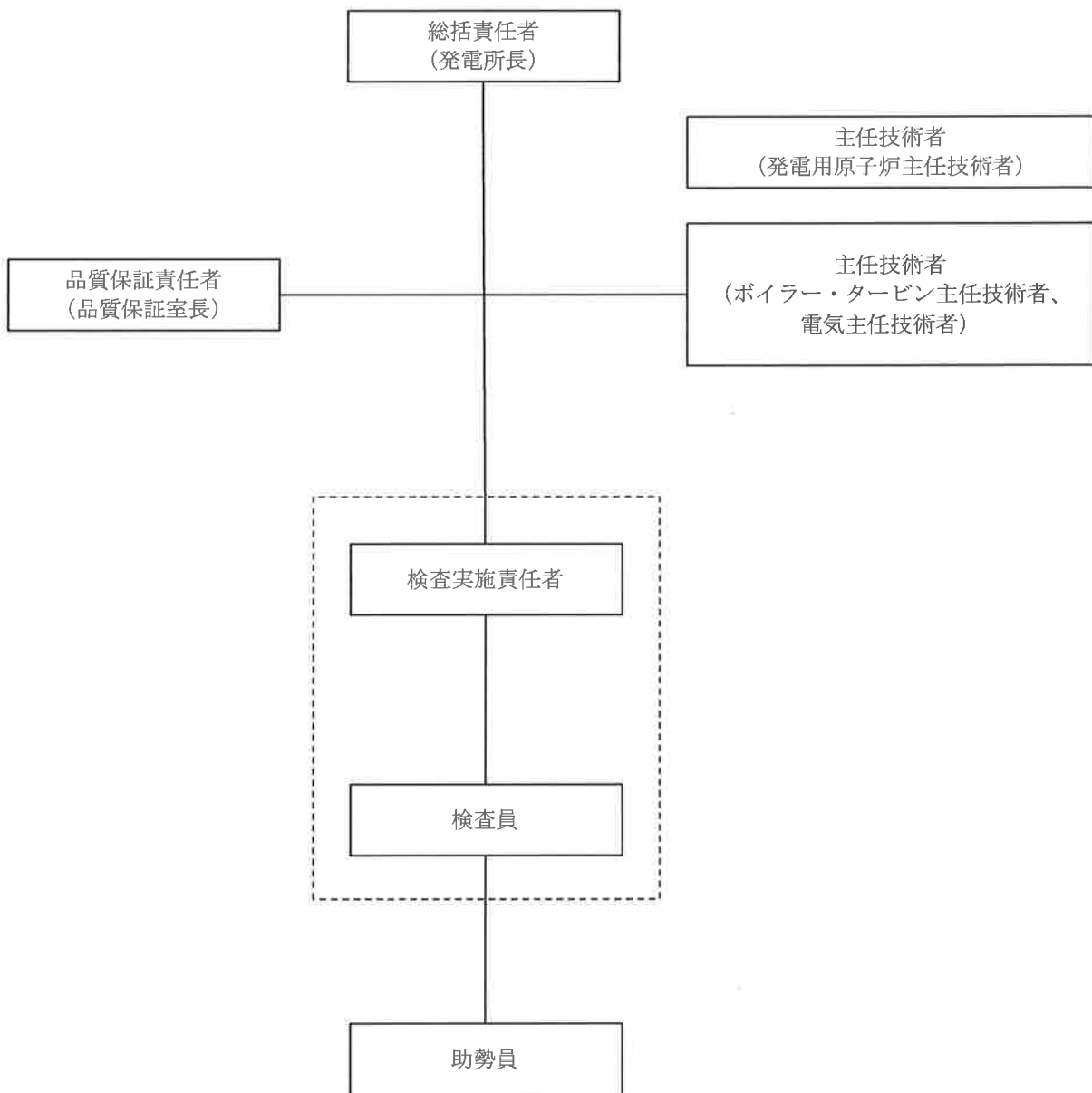
- ・ 検査目的
- ・ 通常の方法で検査ができない理由
  - (例) 既存の発電用原子炉施設に悪影響を及ぼすための困難性
  - 現状の設備構成上の困難性
  - 作業環境における困難性 等
- ・ 代替検査の手法及び判定基準
- ・ 検査目的に対する代替性の評価

(5) 使用前事業者検査の実施

検査実施責任者は、検査員等を指揮して、検査要領書に基づき、確立された検査体制のもとで使用前事業者検査を実施し、その結果を検査を担当する箇所の長に報告する。

報告を受けた検査を担当する箇所の長は、検査プロセスが検査要領書に基づき適正に実施されたこと、及び検査結果が判定基準を満足していることを確認したのち、検査結果を受領する。

また、検査を担当する箇所の長は、受領した検査結果を主任技術者に通知する(燃料体に係る検査を除く。)とともに、総括責任者に報告する。



破線部は工事を主管する箇所から組織的独立した者

第3.5-1図 検査実施体制 (例)

### 3.6 設工認における調達管理の方法

調達を主管する箇所の長は、設工認で行う調達管理を確実にするために、「施設管理通達」、「原子力部門における調達管理通達」及び「原子燃料サイクル通達」に基づき、以下に示す管理を実施する。

#### 3.6.1 供給者の技術的評価

調達を主管する箇所の長は、供給者が当社の要求事項に従って調達製品を供給する技術的な能力を判断の根拠として、供給者の技術的評価を実施する。（添付4「当社における設計管理・調達管理について」の「1. 供給者の技術的評価」参照）

#### 3.6.2 供給者の選定

調達を主管する箇所の長は、設工認に必要な調達を行う場合、原子力の安全に及ぼす影響、供給者の実績等を考慮し、調達の内容に応じたグレード分けの区分（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表3」参照）を明確にした上で、調達に必要な要求事項を明確にし、契約を主管する箇所の長へ供給者の選定を依頼する。

また、契約を主管する箇所の長は、「3.6.1 供給者の技術的評価」で、技術的な能力があると判断した供給者を選定する。

#### 3.6.3 調達製品の調達管理

業務の実施に際し、当社においては、原子力の安全に及ぼす影響に応じて、設計管理及び調達管理に係るグレード分けを適用している。

設工認に適用した機器ごとの現行の各グレードに該当する実績は様式-9「適合性確認対象設備ごとの調達に係る管理のグレード及び実績（設備関係）（例）」（以下「様式-9」という。）に取りまとめる。

設工認に係る品質管理として、仕様書作成のための設計から調達までのグレードごとの流れ、各グレードで実施した各段階の管理及び組織内外の相互関係を添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別図1(1/3)～(3/3)」に示す。

調達を主管する箇所の長は、調達に関する品質保証活動を行うに当たって、原子力の安全に及ぼす影響及び供給者の実績等を考慮し、グレード分けの区分（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表3」参照）を明確にした上で、以下の調達管理に基づき業務を実施する。

また、一般産業用工業品については、(1)の仕様書を作成するに当たり、あらかじめ採用しようとする一般産業用工業品について、原子力施設の安全機能に係る機器

等として使用するための技術的な評価を行う。

(1) 仕様書の作成

調達を主管する箇所の長は、業務の内容に応じ、以下のa～oを記載した仕様書を作成し、供給者の業務実施状況を適切に管理<sup>\*</sup>する。（「3.6.3(2) 調達製品の管理」参照）

※：添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表1(1/2)」に示すAクラス、Bクラス、Cクラス又は「別表1(2/2)」に示すSA常設のうち、設計・開発を適用する場合は、仕様書の作成に必要な設計として、添付4「当社における設計管理・調達管理について」の「2. 仕様書作成のための設計について」の活動を実施する。

- a. 工事又は購入に関する機器仕様（グレード分け（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」参照）を含む。）
- b. 供給者が実施する業務範囲
- c. 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する以下の要求事項（出荷許可の方法を含む。）
  - (a) 法令、基準、規格、仕様、図面、プロセス要求事項等の技術文書の引用
  - (b) 当社の承認を必要とする範囲（手順、プロセス等）
  - (c) 適用する法令、基準、規格等への適合性及び技術的な妥当性等を保証するために必要な要求事項
  - (d) グレード分け（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」参照）に応じた性能、機能、設計のインターフェイス、材料・部品、製作、据付、検査・試験、洗浄、保管、取扱い、梱包、運転上の要求事項等の要求の範囲・程度
  - (e) 主要部材の品名・仕様（寸法・材質等）、数量
  - (f) 部材の保存に関する要求事項
  - (g) 検査・試験に関する要求事項
  - (h) 特殊な装置等を取り扱う場合、装置等を安全かつ適正に使用するために必要な設備の機能・取扱方法
  - (i) 設備が安全かつ適正に機能するために必要な運転操作、並びに保守及び保管における注意・考慮すべき事項
- d. 要員の適格性確認に関する要求事項
- e. 品質マネジメントシステムに関する要求事項
  - (a) 当社が要求する品質マネジメントシステム規格<sup>\*</sup>

※：IS09001を基本とし、設工認品質管理計画及び保安規定の要求事項及びIAEA基準の特徴、並びにキャスク問題等の不適合反映の要求事項を考慮した、原子力発電所の保守等に係る品質マネジメントシステム仕様をいう。

- (b) 文書・記録に関する要求事項
- (c) 外注先使用時における要求事項
- f. 特殊工程等に関する要求事項
- g. 秘密情報の範囲
- h. 不適合の報告及び不適合の処理に関する要求事項
- i. 健全な安全文化を育成し及び維持するために必要な要求事項
- j. 調達製品を当社に引き渡す場合における調達要求事項への適合の証拠となる記録の提出に関する要求事項
- k. 製品の引渡し後における製品の維持又は運用に必要な保安に係る技術情報の提供及びそれらを他の原子炉設置者と共有する場合に必要な措置に関する要求事項
- l. 解析業務に関する要求事項（解析委託の管理については、添付3「設工認における解析管理について」参照）
- m. 悪天候における屋外機材の安全確保措置
- n. 一般産業用工業品を機器等に使用するに当たっての評価に必要な要求事項
- o. 調達を主管する箇所の長が供給先で検査を行う際に原子力規制委員会の職員が同行して工場等の施設に立ち入る場合があることに関する事項

## (2) 調達製品の管理

調達を主管する箇所の長は、当社が仕様書で要求した製品が確実に納品されるよう調達製品が納入されるまでの間、「施設管理通達」、「原子力部門における調達管理通達」及び「原子燃料サイクル通達」に従い、業務の実施に当たって必要な図書（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表1(1/2)」に示すAクラス及びBクラス、「別表1(2/2)」に示すSA常設、及び「別表4」に示す業務委託のグレードI、作業計画書等）を供給者に提出させ、それを審査し確認する等の製品に応じた必要な管理を実施する。

## (3) 調達製品の検証

調達を主管する箇所の長は、調達製品が調達要求事項を満たしていることを確実にするために、グレード分けの区分、調達数量、調達内容等を考慮した調達製品の検証を行う。

なお、供給者先で検証を実施する場合、あらかじめ仕様書で検証の要領及び調



達製品のリリースの方法を明確にした上で、検証を行う。

また、調達を主管する箇所の長は、調達製品が調達要求事項を満たしていることを確認するために実施する検証を、以下のいずれか1つ以上の方法により実施する。

a. 検査・試験

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、「検査・試験通達」に基づき工場又は発電所で検査・試験を実施する。

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、検査・試験のうち、当社が立会又は記録確認を行う検査・試験に関して、以下の項目のうち必要な項目を含む要領書を供給者に提出させ、それを事前に審査し、承認した上で、その要領書に基づく検査・試験を実施する。

- ・対象機器名（品名）
- ・検査・試験項目
- ・適用法令、基準、規格
- ・検査・試験装置仕様
- ・検査・試験の方法、手順、記録項目
- ・品質管理員における作業記録、作業実施状況、検査データの確認時期、頻度
- ・準備内容及び復旧内容の整合性
- ・判定基準
- ・検査・試験成績書の様式
- ・測定機器、試験装置の校正
- ・検査員の資格

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、設工認に基づく使用前事業者検査として必要な検査・試験を適合性確認対象設備ごとに実施又は計画し、設備のグレード分けの区分に応じて管理の程度を決めたのち、「3.5.5 使用前事業者検査の実施」に基づき実施する。

なお、添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表1(2/2)」に示すSA可搬（購入のみ）については、当社にて機能・性能の確認をするための検査・試験を実施する。

b. 受入検査の実施

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、製品の受入れに当たり、受入検査を実施し、現品及び記録の確認を行う。

c. 記録の確認

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、工事記録等調達した役務の実施状況を確認できる書類により検証を行う。

d. 報告書の確認

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、調達した役務に関する実施結果を取りまとめた報告書の内容を確認することにより検証を行う。

e. 作業中のコミュニケーション等

調達を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、調達した役務の実施中に、適宜コミュニケーションを実施すること及び立会等を実施することにより検証を行う。

f. 請負会社他品質監査（「3.6.4 請負会社他品質監査」参照）

### 3.6.4 請負会社他品質監査

供給者に対する監査を主管する箇所の長は、供給者の品質保証活動及び健全な安全文化を育成し及び維持するための活動が適切で、かつ、確実に行われていることを確認するために、請負会社他品質監査を実施する。

（請負会社他品質監査を実施する場合の例）

- ・設備：添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表3」に示すAクラス、Bクラス及びCクラスのうち設工認申請等の対象設備並びにSA常設に該当する場合（原則として3年に1回の頻度で実施）
- ・役務：過去3年以内に監査実績がない供給者で、添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表4」に示すグレードIに該当する場合

また、供給者の発注先（以下「外注先」という。）について、以下に該当する場合は、直接外注先の監査を行う。

- ・供給者が実施した外注先に対する品質監査、又は更に外注先が実施した外注又は下請会社の品質マネジメントシステム状況が不十分と判断した場合
- ・トラブル等で必要と認めた場合

### 3.6.5 設工認における調達管理の特例

設工認の対象となる適合性確認対象設備は、「3.6 設工認における調達管理の方法」を以下のとおり適用する。

(1) 既に工事を着手し設置を完了し調達製品の検証段階の適合性確認対象設備

設工認の対象となる設備のうち、既に工事を着手し設置を完了し調達製品の検証段階の適合性確認対象設備は、「3.6.1 供給者の技術的評価」から「3.6.3(2) 調

達製品の管理」まで、調達当時のグレード分けの考え方（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」参照）で管理を完了しているため、「3.6.3(3) 調達製品の検証」以降の管理を設工認に基づき管理する。

(2) 既に工事を着手し工事を継続している適合性確認対象設備

設工認の対象となる設備のうち、既に工事を着手し工事を継続している適合性確認対象設備は、「3.6.1 供給者の技術的評価」から「3.6.3(1) 仕様書の作成」まで、調達当時のグレード分けの考え方（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」参照）で管理を完了しているため、「3.6.3(2) 調達製品の管理」以降の管理を設工認に基づき管理する。

### 3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ

#### 3.7.1 文書及び記録の管理

(1) 適合性確認対象設備の設計、工事及び検査に係る文書及び記録

「3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の相互関係及び情報伝達含む。）」の第3.1-1表に示す各プロセスを主管する箇所の長は、設計、工事及び検査に係る文書及び記録を、保安規定品質マネジメントシステム計画に示す規定文書に基づき作成し、これらを「原子力部門における文書・記録管理通達」に基づき管理する。

設工認に係る主な記録の品質マネジメントシステム上の位置付けを第3.7-1表に示すとともに、技術基準規則等への適合性を確保するための活動に用いる文書及び記録を第3.7-1図に示す。

(2) 供給者が所有する当社の管理下でない設計図書を設計、工事及び検査に用いる場合の管理

設工認において供給者が所有する当社の管理下でない設計図書を設計、工事及び検査に用いる場合、当社が供給者評価等により品質マネジメントシステム体制を確認した供給者で、かつ、対象設備の設計を実施した供給者が所有する設計当時から現在に至るまでの品質が確認された設計図書を、当該設備として識別が可能な場合において、適用可能な設計図書として扱う。

この供給者が所有する設計図書は、当社の文書管理下で第3.7-1表に示す記録として管理する。

当該設備に関する設計図書がない場合で、代替可能な設計図書が存在する場合、供給者の品質マネジメントシステム体制を確認して当該設計図書の設計当時から

現在に至るまでの品質を確認し、設工認に対する適合性を保証するための設計図書として用いる。

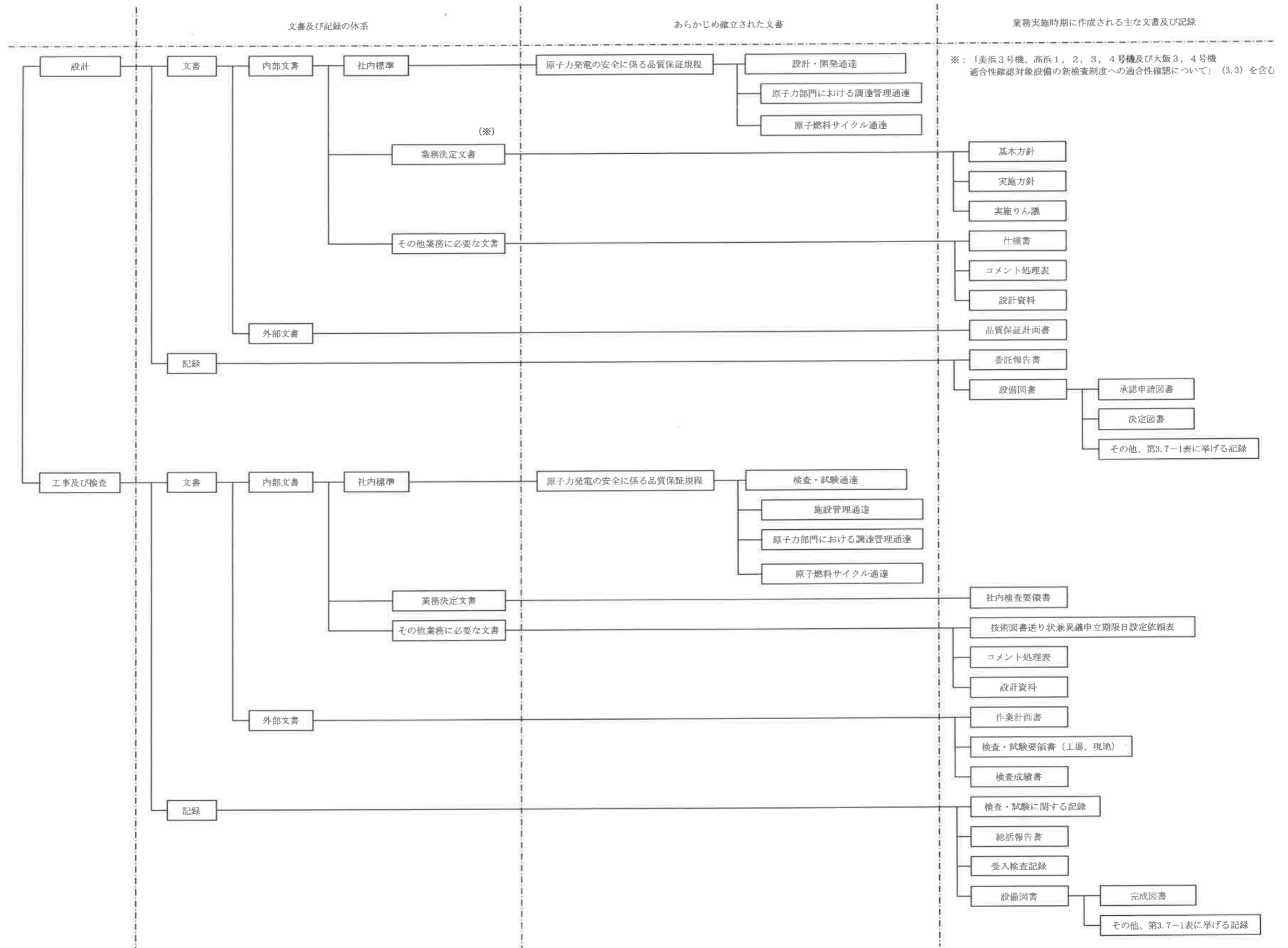
(3) 使用前事業者検査に用いる文書及び記録

検査を担当する箇所の長は、使用前事業者検査として、記録確認検査を実施する場合、第3.7-1表に示す記録を用いて実施する。

なお、適合性確認対象設備のうち、既に工事を着手し設工認申請（届出）時点で工事を継続している設備、並びに添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表1(2/2)」に示すSA可搬（購入のみ）の設備に対して記録確認検査を実施する場合は、検査に用いる文書及び記録の内容が、使用前事業者検査時の適合性確認対象設備の状態を示すものであること（型番の照合、確認できる記載内容の照合又は作成当時のプロセスが適切であること。）を確認することにより、使用前事業者検査に用いる記録として利用する。

第3.7-1表 記録の品質マネジメントシステム上の位置付け

主な記録の種類	品質マネジメントシステム上の位置付け
承認申請図書、決定図書	設備の工事中の図書であり、このうち図面等の最新版の維持が必要な図書においては、工事完了後に完成図書として管理する図書
完成図書	品質マネジメントシステム体制下で作成され、建設当時から設備の改造等に併せて最新版に管理している図書
既工認	設置又は改造当時の工事計画書の認可を受けた図書で、当該設工認に基づく使用前検査の合格を以って、その設備の状態を示す図書
設計記録	作成当時の適合性確認対象設備の設計内容が確認できる記録（自社解析の記録を含む。）
委託報告書	品質マネジメントシステム体制下の調達管理を通じて行われた、業務委託の結果の記録（解析結果を含む。）
供給者から入手した文書・記録	供給者を通じて入手した、供給者所有の設計図書、製作図書、検査記録、ミルシート等
製品仕様書又は仕様が確認できるカタログ等	供給者が発行した製品仕様書又は仕様が確認できるカタログ等で、設計に関する事項が確認できる図書
現場確認結果 (ウォークダウン)	品質マネジメントシステム体制下で確認手順書を作成し、その手順書に基づき現場の適合状態を確認した記録



第3.7-1図 設計、工事及び検査に係る品質マネジメントシステムに関する文書体系

### 3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ

#### (1) 計量器の管理

##### a. 当社所有の計量器の管理

###### (a) 校正・検証

工事を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、校正の周期を定め管理するとともに、国際又は国家計量標準にトレーサブルな計量標準に照らして校正若しくは検証又はその両方を行う。

なお、そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。

###### (b) 識別管理

###### i. 計量器管理台帳による識別

工事を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、校正の状態を明確にするため、計量器管理台帳に、校正日及び校正頻度を記載し、有効期限内であることを識別する。

なお、計量器が故障等で使用できない場合、使用禁止を計量器管理台帳に記載するとともに、修理等で使用可能となれば、使用禁止から校正日へ記載を変更することで、使用可能であることを明確にする。

###### ii. 有効期限表示ラベルによる識別

工事を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、計量器の校正の状態を明確にするため、有効期限表示ラベルに必要事項を記載し、計量器の目立ちやすいところに貼り付けて識別する。

##### b. 当社所有以外の計量器の管理

工事を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、供給者所有の計量器を使用する場合、計量器の管理が適正に行われていることを確認する。

#### (2) 機器、弁及び配管等の管理

工事を主管する箇所の長は、機器、弁、配管等を、刻印、タグ、銘板、台帳、塗装表示等にて管理する。

### 3.8 不適合管理

設工認に基づく設計、工事及び試験・検査において発生した不適合については「不適合管理および是正処置通達」に基づき処置を行う。

#### 4. 適合性確認対象設備の施設管理

適合性確認対象設備の工事は、「施設管理通達」の「保全計画の策定」の中の「設計および工事の計画の策定」として、施設管理に係る業務プロセスに基づき業務を実施している。また、特定重大事故等対処施設に関わる秘匿性を保持する必要がある情報については、3. (1)、(2)に示す「秘密情報の管理」及び「セキュリティの観点から非公開とすべき情報の管理」を実施している。

施設管理に係る業務のプロセスと品質マネジメントシステムの文書との関連を第4-1図に示す。

##### 4.1 使用開始前の適合性確認対象設備の保全

工事又は検査を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備の保全を、以下のとおり実施する。

###### 4.1.1 工事を着手し設置が完了している常設又は可搬の設備

工事を着手し、設置が完了している常設又は可搬の設備は、巡視点検又は日常の保守点検（月次の外観点検、動作確認等）の計画を定め、設備の状態を点検し、異常のないことを確認する。

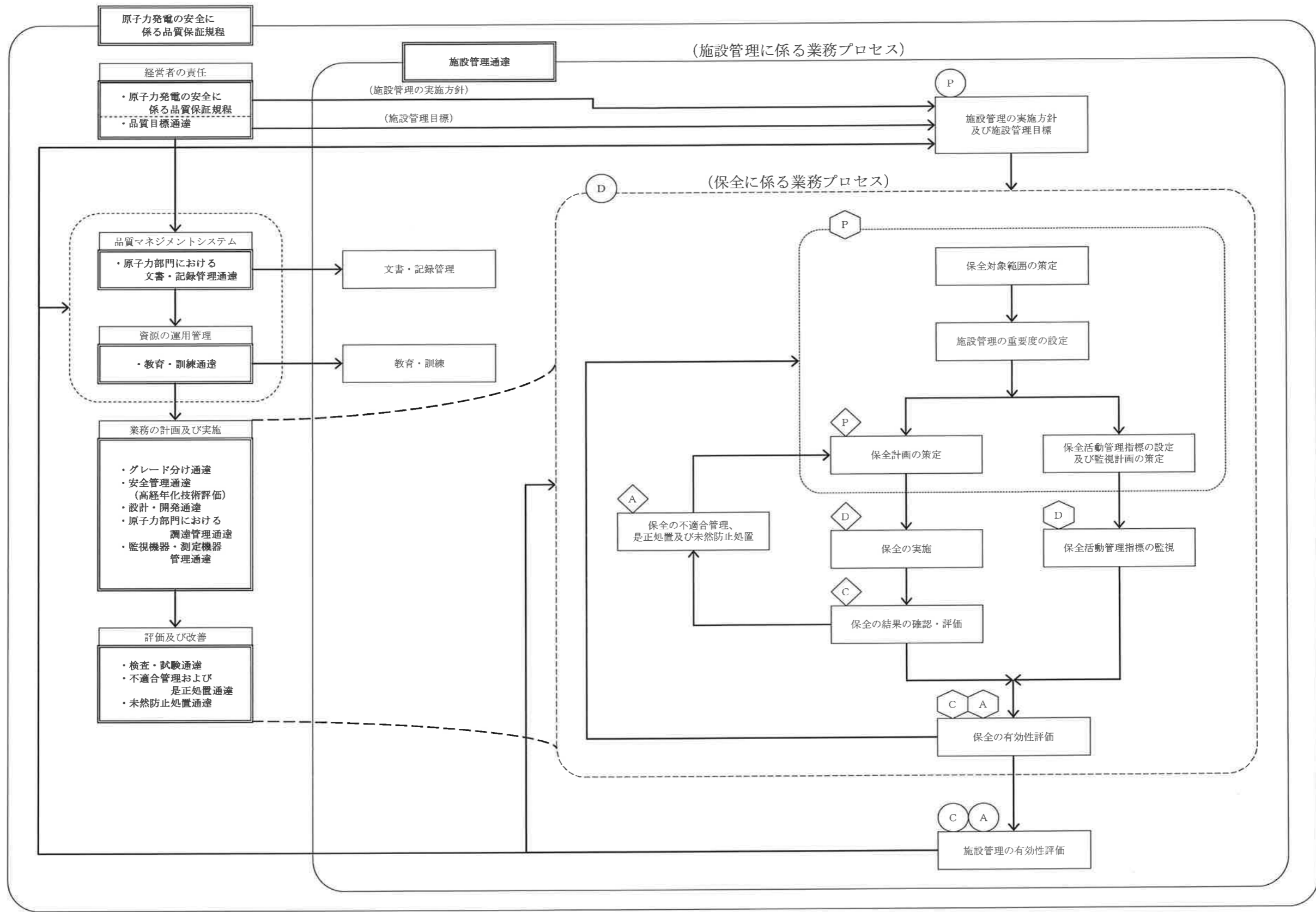
###### 4.1.2 設工認の認可後に工事を着手し設置が完了している常設又は可搬の設備

設工認の認可後に工事を着手し、設置が完了している常設又は可搬の設備は、巡視点検又は日常の保守点検（月次の外観点検、動作確認等）の計画を定め、設備の状態を点検し、異常のないことを確認する。

##### 4.2 使用開始後の適合性確認対象設備の保全

工事を主管する箇所の長は、適合性確認対象設備について、技術基準規則への適合性を使用前事業者検査を実施することにより確認し、適合性確認対象設備の使用開始後においては、施設管理に係る業務プロセスに基づき保全重要度に応じた点検計画を策定し保全を実施することにより、適合性を維持する。





◇ ○ ◻ : JEAC4209-2007 MC-4「保守管理」の【解説4】に示す3つのPDCAサイクルに相当する。

第4-1図 施設管理に係る業務プロセスと品質マネジメントシステムの文書との関連

本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画（例）

各段階	プロセス（設計対象） 実績：3.3.1～3.3.3(6) 計画：3.4.1～3.7.2	組織内外の相互関係			実績 (○) / 計画 (△)	インプット	アウトプット	他の記録類
		◎：主力 事業本部	○：発電所	○：関連 供給者				
3.3.1	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化							
3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定							
3.3.3(1)	基本設計方針の作成（設計1）							
3.3.3(2)	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）							
3.3.3(3)	設計のアウトプットに対する検証							
3.3.3(4)	設工認申請（届出）書の作成							
3.3.3(5)	設工認申請（届出）書の承認							
3.4.1	設工認に基づく具体的な設備の設計の実施（設計3）							
3.4.2	具体的な設備の設計に基づく工事の実施							
3.5.2	使用前事業者検査の計画							
3.5.3	検査計画の管理							
3.5.4	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理							
3.5.5	使用前事業者検査の実施							
3.7.2	識別管理及びトレーサビリティ							

設備リスト (例) (設計基準対象施設)

表題は、リスト作成時に具体的な名称に書き換える。  
網掛け欄は記載設備に応じて記載する。

設置許可 技術基準 規則	設置許可業規則及び解釈	技術基準規則及び解釈	必要な機能等	設備等	設備 運用 / 既設 / 新設	要求事項に 対して必須の 設備、運用か (○、×)	実用炉規則 別添第二の 記載対象 設備か (○、×)	既設に 記載がされて いないか (○、×)	必要な対策が (a)/(b)/(c)*のうち、 どこに対応するか	実用炉規則 別添第二に 関連する 施設・設備区分	設置変更許可 申請書 添付書類 主要設備 記載有無	備考

※(a)、(b)及び(c)が示す分類は以下のとおり。  
 (a): 適合性確認対象設備のうち認可済み又は届出済みの既設に記載されていない設備  
 (b): 適合性確認対象設備のうち認可済み又は届出済みの既設に記載されている設備  
 (c): 適合性確認対象外の設備(自主設置設備等)

設備リスト(例) (重大事故等対処設備)

表題は、リスト作成時に具体的な名称に書き換える。  
網掛け欄は記載設備に応じて記載する。

設置許可基準項目 /技術基準項目 案 文	技術基準項目及び解釈	設備(既設+新設)	許可 人 様 記 録 欄	系統	設備種別	設備 or 運用 設備:○ 運用:x	詳細設計に関する事項				フロアに よる分類*	実用手順則(図案第二に 関連する施設、設備区分)	今後の竣工記録分類案 ○:項目+基本設計方針+ 関連施設 △:基本設計方針	
							実用手順則 別添第二の 記載対象 設備か? 対象: <input type="radio"/> ○ 対象外: <input type="radio"/> x	既工程に 記載されて いるか? 記載者: <input type="radio"/> ○ 記載無: <input type="radio"/> x	使用目的が DBEと 異なるか? 異なる: <input type="radio"/> ○ 同じ: <input type="radio"/> x	使用条件が DBEと 異なるか? 異なる: <input type="radio"/> ○ 同じ: <input type="radio"/> x				重大事故 クラスが DBEと 異なるか? 異なる: <input type="radio"/> ○ 同じ: <input type="radio"/> x

※:①、②、③及び④が添付分類は出たのとおり。  
①:新設の竣工記録可対象(要目書に記載)  
②:既設のうち使用目的変更・使用条件変更・機能クラスアップのいずれかを伴う竣工記録可対象(要目書に記載)  
③:既設のうち使用目的変更・使用条件変更・機能クラスアップのいずれも伴わない竣工記録可対象(要目書に記載)  
④:実用手順則別添第二の記載要求事項のうち要目書に該当しない竣工記録可対象設備(基本設計方針のみに記載)

技術基準規則の各条文と各施設における適用可否の考え方（例）

技術基準規則 第〇〇条（〇〇〇〇〇）		条文の分類	
実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則		実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈	
対象施設	適用可否判断 (○□△)	理由	備考
原子炉本体			
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			
原子炉冷却系統施設			
計測制御系統施設			
放射性廃棄物の廃棄施設			
放射線管理施設			
原子炉格納施設			
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備		
	常用電源設備		
	補助ボイラー		
	火災防護設備		
	浸水防護施設		
	補機駆動用燃料設備		
	非常用取水設備		
	敷地内土木構造物		
緊急時対策所			
第7、13条への対応に必要な施設 (原子炉冷却系統施設)			
【記号説明】		○：条文要求に追加・変更がある。又は追加設備がある。 □：保安規定等にて維持・管理が必要な追加設備がある。 △：条文要求に追加・変更がなく、追加設備もない。	



施設と条文の対比一覧表 (例) (重大事故等対処設備)

		重大事故等対処設備																													
条文	施設	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
		地震	地震	津波	火災	特異設備	重大事故等対処設備	材料構造	破壊の防止	安全弁	耐圧試験	未臨界	高圧時の冷却	高圧時の減圧	パワンのタリの減圧	低圧時の冷却	最終ヒートシンク	CV過圧保護防止	下部溶融炉心冷却	CV水素燃焼	原子炉蒸発器	SFP冷却	拡散抑制	水の供給	電源設備	計装設備	原子炉制御室	監視測定設備	緊急時対策所	通信	共用
	分類	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	共通
	原子炉施設の種類																														
	原子炉本体																														
	核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設																														
	原子炉冷却系統施設																														
	計測制御系統施設																														
	放射性廃棄物の廃棄施設																														
	放射線管理施設																														
	原子炉格納施設																														
	非常用電源設備																														
	常用電源設備																														
	補助ボイラー																														
	火災防護設備																														
	浸水防護施設																														
	補機駆動用燃料設備																														
	非常用取水設備																														
	敷地内土木構造物																														
	緊急時対策所																														
	【記号説明】	○: 条文要求に追加・変更がある。又は追加設備がある。 △: 条文要求に追加・変更がなく、追加設備もない。 □: 保安規定等にて維持・管理が必要な追加設備がある。 一: 条文要求を及ぼす設備がない。																													





各条文の設計の考え方（例）

第〇条（〇〇〇〇〇）					
1. 技術基準の条文、解釈への適合に関する考え方					
No.	基本設計方針で記載する 事項	設工認資料作成の考え方（理由）	項・号	解釈	添付書類
2. 設置許可本文のうち、基本設計方針に記載しないことの考え方					
No.	項目	考え方			添付書類
3. 設置許可添八のうち、基本設計方針に記載しないことの考え方					
No.	項目	考え方			添付書類
4. 添付書類等					
No.	書類名				

要求事項との対比表 (例)

技術基準規則	設工認申請書 基本設計方針	設置許可申請書 本文	設置許可申請書 添付資料八	備考





## 当社におけるグレード分けの考え方

当社では業務の実施に際し、原子力の安全に及ぼす影響に応じて、グレード分けの考え方を適用している。

設計管理（保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3 設計・開発」）及び調達管理（保安規定品質マネジメントシステム計画「7.4 調達」）に係るグレード分けについては以下のとおりである。

なお、平成25年7月に施行された新規制基準を見据えて、平成25年3月に重大事故等対処設備に対する重要度の考え方を策定し運用を開始した。（別表1(2/2)参照）

## 1. 当社におけるグレード分けの考え方と適用

設計・調達の管理に係るグレード分けの考え方とその適用については、以下のとおりである。

## 1.1 設備の設計・調達の管理に係るグレード分けの考え方

当社における設備の設計・調達の管理に係るグレード分けの考え方は、「グレード分け通達」に規定しており、その内容を別表1(1/2)～(2/2)に示す。

なお、解析単独の調達の場合については、役務の調達として管理し、供給者に対する品質マネジメントシステム上の要求事項にグレード分けを適用している。

## 1.2 設備の設計・調達の各段階におけるグレードの適用

設備の設計・調達の各段階において「施設管理通達」、「設計・開発通達」、「原子力部門における調達管理通達」、「検査・試験通達」及び「原子燃料サイクル通達」並びに業務決定文書「シビアアクシデント対策設備に係る品質管理活動および保全活動の基本的な考え方」に基づき、別表1(1/2)～(2/2)のグレードに応じた品質保証活動を適用しており、その内容を別表2に示す。

また、設備の設計・調達の業務の流れを、別表2に基づき以下の3つに区分する。

## (1) 業務区分Ⅰ

Aクラス、Bクラス、Cクラス又はSA常設のうち設計・開発を適用する場合を対象とし、その業務の流れを別図1(1/3)に示す。

## (2) 業務区分Ⅱ

Aクラス、Bクラス、Cクラス又はSA常設のうち設計・開発を適用しない場合並びにSA可搬（工事等含む。）を対象とし、その業務の流れを別図1(2/3)に示す。

### (3) 業務区分Ⅲ

SA可搬（購入のみ）を対象とし、その業務の流れを別図1(3/3)に示す。

## 1.3 調達要求事項と検査・試験におけるグレードの適用

調達要求事項と検査・試験の項目においては、別表1(1/2)～(2/2)のグレードのほか、工事等の範囲、内容の複雑さ、実績等を勘案の上、品質保証活動を適用しており、その内容を別表3に示す。

なお、別表1(1/2)に示すCクラスについては、品質保証計画書の提出を要求しないことから、品質マネジメントシステムに関する要求事項は適用していないが、発電用原子炉設置変更許可申請、設工認申請又は設工認届出の対象となる場合は、検査等が追加されることから、品質マネジメントシステムに関する要求事項等を追加している。

また、SA可搬（購入のみ）については、汎用（市販）品であり、原子力特有の技術仕様を要求するものではないことから、供給者に対する要求事項は必要なものに限定している。

なお、具体的な適用は個々の設備により異なることから、仕様書で明確にしている。

## 1.4 業務委託におけるグレードの適用

解析業務等を委託する場合には、「原子力事業本部他業務委託取扱要綱」に基づき供給者の品質マネジメントシステムに係る要求事項についてグレード分けを適用しており、その内容を別表4に示す。

供給者のグレード分けの考え方は、別表1(1/2)～(2/2)のグレード等に応じて、供給者の品質管理活動を品質保証計画書の提出又は品質監査により確認している。

別表1(1/2) 設計・調達に管理に係るグレード分け  
(原子炉施設)

重要度*	グレードの区分
次のいずれかに該当する工事 ○クラス1の設備に係る工事 ○クラス2の設備に係る工事 ・クラス2の設備のうち、「安全設計審査指針」でいう「重要度の特に高い安全機能を有する系統」は、クラス1に分類 ○クラス3の設備及びその他の設備のうち、発電への影響度区分がR3「その故障がプラント稼動にほとんど影響を及ぼさない設備」を除く設備に係る工事	Aクラス 又は Bクラス
上記以外の設備に係る工事	Cクラス

※：上記の「クラス1～3」は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」のクラス1～3であり、発電への影響度区分との関係は以下のとおり。

発電への 影響度区分	安全上の機能別重要度区分							
	クラス1		クラス2		クラス3		その他	
	PS-1	MS-1	PS-2	MS-2	PS-3	MS-3		
R1	A		B				C	
R2								
R3								

R1：その故障により発電停止となる設備

R2：その故障がプラント運転に重大な影響を及ぼす設備（R1を除く）

R3：上記以外でその故障がプラント稼動にほとんど影響を及ぼさない設備

別表1(2/2) 設計・調達に管理に係るグレード分け  
(原子炉施設のうち重大事故等対処施設)

重要度	グレードの区分
○特定重大事故等対処施設 ○重大事故等対処設備（常設設備）	SA常設
○重大事故等対処設備（可搬設備）	SA可搬（工事等含む。） 又は SA可搬（購入のみ）

別表2 設計・調達の管理に係る各段階とその実施内容

管理の段階	実施内容	グレードの区分				
		A、B クラス	C クラス	SA 常設	SA可搬	
					工事等 含む	購入 のみ
I	工事計画 保安規定品質マネジメントシステム計画「7.1 個別業務に必要なプロセスの計画」に基づき、工事の基本となる計画を作成する。 (設計開発計画と兼ねる場合がある※1)	○	○	○	○	○
II	調達要求事項作成のための設計 保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3.1 設計開発計画」～「7.3.5 設計開発の検証」に基づき、仕様書作成のための設計を実施する。	○※1	○※1	○※1	—	—
III	調達 保安規定品質マネジメントシステム計画「7.4 調達」に基づき、設計・工事及び検査のための仕様書を作成する。(購入のみの調達を含む。)	○	○	○	○	○
IV	設備の設計 保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3.5 設計開発の検証」に基づき、詳細設計の確認を実施する。	○	○	○	○	—
V	工事及び検査 工事は、保安規定品質マネジメントシステム計画「7.1 個別業務に必要なプロセスの計画」及び「7.5.1 個別業務の管理」に基づき管理する。 また、検査は、保安規定品質マネジメントシステム計画「7.1 個別業務に必要なプロセスの計画」、「7.3.6 設計開発の妥当性確認」、「7.5.1 個別業務の管理」及び「8.2.4 機器等の検査等」に基づき管理する。	○	○	○	○※2,3	○※3
	SA可搬(購入のみ)に対する機能・性能確認 SA可搬(購入のみ)においても、機能・性能を確認するための検査・試験を実施する。	—	—	—	—	○

○：該当あり ー：該当なし

※1：以下の工事における業務は保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3 設計・開発」を適用し、それ以外の工事の計画は保安規定品質マネジメントシステム計画「7.1 個別業務に必要なプロセスの計画」を適用している。



【保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3 設計・開発」を適用する工事】

「設計・開発通達」に定めるところの、既設備の原設計を機能的又は構造的に変更する工事であって、発電用原子炉設置変更許可申請、設工認申請又は設工認届出を伴う工事のうち、以下のいずれかに該当する工事をいう。

ただし、当社で過去に実績のある工事は除く。（SA常設の場合は海外での実績を含む。）

- ・ Aクラス又はBクラスの機器を対象とした工事
- ・ Aクラス又はBクラスの機器に影響を及ぼすおそれのあるCクラスの機器を対象とした工事

※2：必要な場合は確認を実施する。

※3：当社による受入検査を含む。

別表3 調達要求事項と検査・試験に係るグレード分け

項目	グレードの区分	A、B クラス	C クラス	SA 常設	SA可搬	
					工事等 含む	購入 のみ
調達 要求 事項	機器仕様	○	○	○	○	○
	適用法令等	○	○	○	○	—
	設計要求事項	○	○	○	○	—
	材料・製作・据付等	○	○	○	○	—
	要員の適格性	○	○	○	○	—
	品質マネジメントシステム要求事項	○	—※1	○	—	—
	不適合の報告・処理	○	—※1	○	○	—
	健全な安全文化を育成し及び維持するための活動	○	—※1	○	—	—
	調達要求事項適合の記録	○	○	○	○	—
	調達後の技術情報提供	○	○	○	○	○
	解析業務	○※2	—※1,※2	○※2	○※2	—
耐震・強度計算等	○※2	—※1,※2	○※2	○※2	—	
検査・ 試験	材料検査	○	○	○	—※2	—
	寸法検査	○	○	○	—※2	—
	非破壊検査	○	○	○	—※2	—
	耐圧・漏えい検査	○	○	○	—※2	—
	外観検査	○	○	○	○	○
	性能機能検査	○	○	○	—※2	—

○：該当あり —：該当なし

※1：Cクラスのうち、発電用原子炉設置変更許可申請、設工認申請、及び設工認届出の対象設備並びに使用前事業者検査（溶接）の対象設備に適用する。

※2：必要に応じ実施する。

別表4 業務委託に係るグレード分け

グレードの 区分	内 容	品質保証 計画書	品質監査
グレードⅠ	成果が設備・業務に直接反映される委託 ・関連法令に定める「設工認申請（届出）」及び検査に係る業務 ・重要度分類Aクラス又はBクラスの設備の設計・評価に係る役務 等	○	○
グレードⅡ	成果が設備・業務に直接反映される委託 ・上記以外	—※	—
グレードⅢ	成果が設備・業務に直接反映されない委託	—	—

※：業務に従事する要員の必要な力量等を含めた「品質管理事項の説明書」を、供給者から提出させる。

管理の段階	設計、工事及び検査の業務フロー		組織内外の部門間の相互関係 ◎：主管箇所 ○：関連箇所			実施内容	添付本文 (記載項目)	証拠書類
	当社	供給者	事業本部 原子力 本部	発電所	供給者			
I 工事計画	基本方針の作成		◎	◎	—	設計を主管する箇所の長は、設計の基本となる計画を「基本方針」として作成する。	・3.6 設工認における調達管理の方法	・基本方針
II 調達要求事項作成のための設計			◎	◎	—	設計を主管する箇所の長は、設計へのインプットとして要求事項を明確にした「実施方針」を作成し、「実施方針」の承認過程で適切性をレビューする。また、設計に関与する組織間のインターフェイスを明確にし、効果的なコミュニケーション及び明確な責任の割当てを実施する。  工事を主管する箇所の長は、設計からのアウトプットとして「実施りん議」及び「仕様書」を作成し、「実施りん議」及び「仕様書」の承認過程でレビューするとともに、インプットの要求事項を満たしていることを確実にするために検証を実施する。	・3.6 設工認における調達管理の方法	・実施方針 ・実施りん議 ・仕様書
III 調達	仕様書の作成		◎	◎	○	工事を主管する箇所の長は、承認された「実施りん議」に添付した「仕様書」にて、契約を主管する箇所の長に契約の手続きを依頼する。  契約を主管する箇所の長は、登録された供給者（取引先）の中から工事等の要求品質、価格、規模、納（工）期、技術力、実績等に基づき取引先を選定する。	・3.6.1 供給者の技術的評価 ・3.6.2 供給者の選定 ・3.6.3 調達製品の調達管理	・実施りん議 ・仕様書
IV 設備の設計	設計・開発の検証		◎	◎	○	工事を主管する箇所の長は、供給者の品質保証システムを審査するために「品質保証計画書」を徴収し、審査・承認する。（ただし、定期的に徴収している場合はこの限りではない。） また、供給者の詳細設計結果を「承認申請図書」として提出させ、「コメント処理表」により審査・承認し、「決定図書」として提出させる。	・3.6.3 調達製品の調達管理	・品質保証計画書 ・承認申請図書 ・コメント処理表 ・決定図書
V 工事及び検査			— (◎)	◎ (—)	◎ ※3	工事を主管する箇所の長は、調達要求事項を満たしていることを確実にするために、供給者から「作業計画書」、「検査・試験要領書（工場、現地）」等の必要な承認申請図書を提出させ、「技術図書送り状兼異議申立期限日設定依頼表」及び「コメント処理表」を用いて審査・承認する。  検査を担当する箇所の長は、「社内検査要領書」を作成し、それに基づき社内検査を実施し、「検査・試験に関する記録」を作成する。 また、供給者の検査・試験の結果を立会いまたは記録により確認する。  工事を主管する箇所の長は、工事及び検査の結果を「総括報告書」及び「完成図書」として提出させる。	・3.6.3 調達製品の調達管理	・作業計画書 ・検査・試験要領書（工場、現地） ・技術図書送り状兼異議申立期限日設定依頼表 ・コメント処理票 ・社内検査要領書 ・検査・試験に関する記録 ・総括報告書 ・完成図書

※1：調達本部を含む。

※2：設計・開発の計画は、保安規定品質保証計画「7.1 業務の計画」に基づく実施方針を兼ねる。

※3：( ) 表示は、燃料体に係る検査の場合を示す。

別図1(1/3) 業務フロー（業務区分I）

管理の段階	設計、工事及び検査の業務フロー		組織内外の部門間の相互関係 ◎：主管箇所 ○：関連箇所			実施内容	添付本文 (記載項目)	証拠書類
	当社	供給者	事業本部 原子力 ※1	発電所	供給者			
I 工事計画	実施方針の作成		◎	◎	—	設計又は工事を主管する箇所の長は、設計の要求事項を明確にした「実施方針」又は「実施りん議」を作成する。	・3.6 設工認における調達管理の方法	・実施方針 ・実施りん議
II 調達要求事項作成のための設計			—	—	—			
III 調達	仕様書の作成		◎	◎	○	工事を主管する箇所の長は、承認された「実施りん議」に添付した「仕様書」にて、契約を主管する箇所の長に契約の手続きを依頼する。  契約を主管する箇所の長は、登録された供給者（取引先）の中から工事等の要求品質、価格、規模、納（工）期、技術力、実績等に基づき取引先を選定する。	・3.6.1 供給者の技術的評価 ・3.6.2 供給者の選定 ・3.6.3 調達製品の調達管理	・実施りん議 ・仕様書
IV 設備の設計	調達製品の検証	供給者の設計 ↓ 詳細設計図書	◎	◎	○	工事を主管する箇所の長は、供給者の品質保証システムを審査するために「品質保証計画書」を徴収し、審査・承認する。（ただし、定期的に徴収している場合はこの限りではない。） また、供給者の詳細設計結果を「承認申請図書」として提出させ、「コメント処理表」により審査・承認し、「決定図書」として提出させる。	・3.6.3 調達製品の調達管理	・品質保証計画書 ・承認申請図書 ・コメント処理表 ・決定図書
V 工事及び検査	調達製品の検証 (工場での検査・試験) ↓ 図書の審査 ↓ 調達製品の検証 (現地での検査・試験)	製作 ↓ 現地作業関連図書 ↓ 現地据付工事 ↓ 竣工	— (◎) ※2	◎ (—) ※2	○	工事を主管する箇所の長は、調達要求事項を満たしていることを確実にするために、供給者から「作業計画書」、「検査・試験要領書（工場、現地）」等の必要な承認申請書を提出させ、「技術図書送り状兼異議申立期限日設定依頼表」及び「コメント処理表」を用いて審査・承認する。  検査を担当する箇所の長は、「社内検査要領書」を作成し、それに基づき社内検査を実施し、「検査・試験に関する記録」を作成する。 また、供給者の検査・試験の結果を立会いまたは記録により確認する。  工事を主管する箇所の長は、工事及び検査の結果を「総括報告書」及び「完成図書」として提出させる。	・3.6.3 調達製品の調達管理	・作業計画書 ・検査・試験要領書（工場、現地） ・技術図書送り状兼異議申立期限日設定依頼表 ・コメント処理票 ・社内検査要領書 ・検査・試験に関する記録 ・総括報告書 ・完成図書

※1：調達本部を含む。

※2：（）表示は、燃料体に係る検査の場合を示す。

別図 1(2/3) 業務フロー（業務区分Ⅱ）

管理の段階	設計、工事及び検査の業務フロー		組織内外の部門間の相互関係 ◎：主管箇所 ○：関連箇所			実施内容	添付本文 (記載項目)	証拠書類
	当社	供給者	事業本部 原子力 #1	発電所	供給者			
I	工事計画	実施方針の作成	◎	◎	-	設計又は工事を主管する箇所の長は、設計の要求事項を明確にした「実施方針」又は「実施りん議」を作成する。	・3.6 設工器における調達管理の方法	・実施方針 ・実施りん議
II	調達要求事項作成のための設計		-	-	-		-	-
III	調達	仕様書の作成	◎	◎	○	工事を主管する箇所の長は、承認された「実施りん議」に添付した「仕様書」にて、契約を主管する箇所の長に契約の手続きを依頼する。 契約を主管する箇所の長は、登録された供給者（取引先）の中から工事等の要求品質、価格、規模、納（工）期、技術力、実績等に基づき取引先を選定する。	・3.6.1 供給者の技術的評価 ・3.6.2 供給者の選定 ・3.6.3 調達製品の調達管理	・実施りん議 ・仕様書
IV	設備の設計		-	-	-		-	-
V	工事及び検査	調達製品の検証 (受入検査、社内検査)	-	◎	○	工事を主管する箇所の長は、必要に応じ供給者から「検査成績書」等を提出させて確認する。 工事を主管する箇所の長は、受入検査を実施し、「受入検査記録」を作成する。 検査を担当する箇所の長は、「社内検査要領書」を作成し、それに基づき社内検査を実施し、「検査・試験に関する記録」を作成する。	・3.6.3 調達製品の調達管理	・検査成績書 ・受入検査記録 ・社内検査要領書 ・検査・試験に関する記録

※1：調達本部を含む。

別図 1(3/3) 業務フロー（業務区分Ⅲ）

## 技術基準規則ごとの基本設計方針の作成に当たっての基本的な考え方

1. 設置変更許可申請書との整合性を確保する観点から、設置変更許可申請書本文に記載している適合性確認対象設備に関する設置許可基準規則に適合させるための「設備の設計方針」、及び設備と一体となって適合性を担保するための「運用」を基にした詳細設計が必要な設計要求事項を記載する。
2. 技術基準規則の本文及び解釈への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文以外で詳細設計が必要な設計要求事項（多様性拡張設備等）がある場合は、その理由を様式-6「各条文の設計の考え方（例）」に明確にした上で記載する。
3. 自主的に設置したものは、原則として記載しない。
4. 基本設計方針は、必要に応じて並び替えることにより、技術基準規則の記載順となるように構成し、箇条書きにする等表現を工夫する。
5. 基本設計方針の作成に当たっては、必要に応じ、以下に示す考え方で作成する。
  - (1) 設置変更許可申請書本文の記載事項のうち、「性能」を記載している設計方針は、技術基準規則への適合性を確保する上で、その「性能」を持たせるために特定できる手段がわかるように記載する。

また、技術基準規則への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文に対応した事項以外に必要となる運用を付加する場合も同様の記載を行う。

なお、手段となる「仕様」が要目表で明確な場合は記載しない。
  - (2) 設置変更許可申請書本文の記載事項のうち「運用」は、「基本設計方針」として、運用の継続的改善を阻害しない範囲で必ず遵守しなければならない条件が分かる程度の記載を行うとともに、運用を定める箇所（品質マネジメントシステムの2次文書で定める場合は「保安規定」を記載する。）の呼びみを記載し、必要に応じ、当該施設に関連する実用炉規則別表第二に示す添付書類の中でその運用の詳細を記載する。

また、技術基準規則の本文及び解釈への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文に対応した事項以外に必要となる運用を付加する場合も同様の記載を行う。
  - (3) 設置変更許可申請書本文で評価を伴う記載がある場合は、設工認申請書の添付書類として担保する条件を以下の方法を使い分けることにより記載する。

- a. 評価結果が示されている場合、評価結果を受けて必要となった措置のみを設工認申請の対象とする。
  - b. 今後評価することが示されている場合、評価する段階（設計又は工事）を明確にし、評価の方法及び条件、並びにその評価結果に応じて取る措置の両方を設計対象とする。
- (4) 各条文のうち、要求事項が該当しない条文については、該当しない旨の理由を記載する。
- (5) 条項号のうち、適用する設備がない要求事項は、「適合するものであることを確認する」という設工認申請の審査の観点を踏まえ、当該要求事項の対象となる設備を設置しない旨を記載する。
- (6) 技術基準規則の解釈等に示された指針、原子力規制委員会文書、（旧）原子力安全・保安院文書、他省令等の呼び込みがある場合は、以下の要領で記載を行う。
- a. 設置時に適用される要求等、特定の版の使用が求められている場合は、引用する文書名及び版を識別するための情報（施行日等）を記載する。
  - b. 監視試験片の試験方法を示した規格等、条文等で特定の版が示されているが、施設管理等の運用管理の中で評価する時点でエンドースされた最新の版による評価を継続して行う必要がある場合は、保安規定等の運用の担保先を示すとともに、当該文書名及び必要に応じそのコード番号を記載する。
  - c. 解釈等に示された条文番号は、当該文書改正時に変更される可能性があることを考慮し、条文番号は記載せず、条文が特定できる表題で記載する。
  - d. 条件付の民間規格又は設置変更許可申請書の評価結果等を引用する場合は、可能な限りその条件等を文章として反映する。

また、設置変更許可申請書の添付書類を呼び込む場合は、対応する本文のタイトルを呼び込む。

なお、文書名を呼び込む場合においても「技術評価書」の呼び込みは行わない。

## 設工認における解析管理について

設工認に必要な解析のうち、調達（「3.6 設工認における調達管理の方法」参照）を通じて実施した解析は、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（一般社団法人日本原子力技術協会、平成22年12月発行）」に示される要求事項に、当社の要求事項を加えて策定した「原子力発電所保修業務要綱」及び「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」のうち別紙「許認可申請等に係る解析業務に関する特別な調達管理の実施について」により、供給者への許認可申請等に係る解析業務の要求事項を明確にしている。

これに基づき、解析業務を主管する箇所の長は、調達要求事項に解析業務を含む場合、以下のとおり特別な調達管理を実施する。

なお、事業者と供給者の解析業務の流れを別図1に示すとともに、設工認の解析業務の調達の流れを別図2に示す。

また、過去に国に提出した解析関係の委託報告書等でデータ誤りがあった不適合事例とその対策実施状況を別表1(1/2)～(2/2)に示す。

### 1. 仕様書の作成

解析業務を主管する箇所の長は、解析業務に係る必要な品質保証活動として、通常の調達要求事項に加え、「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」の別紙で定めた「許認可申請等に係る解析業務に関する特別な品質管理の実施について」を仕様書で追加要求する。

### 2. 解析業務の計画

解析業務を主管する箇所の長は、供給者から解析業務を実施する前に下記事項の計画（実施段階、目的、内容、実施体制等）を明確にした解析業務実施計画書を提出させ、仕様書の要求事項を満たしていることを確実にするため検証する。

- (1) 解析業務の作業手順（デザインレビュー、審査方法、時期等を含む。）
- (2) 解析結果の検証
- (3) 委託報告書の確認
- (4) 解析業務の変更管理

また、解析業務を主管する箇所の長は、供給者の解析業務に変更が生じた場合、及び契約



締結後に当社の特別の理由により契約内容等に変更の必要が生じた場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づき必要な手続きを実施する。

### 3. 解析業務の実施

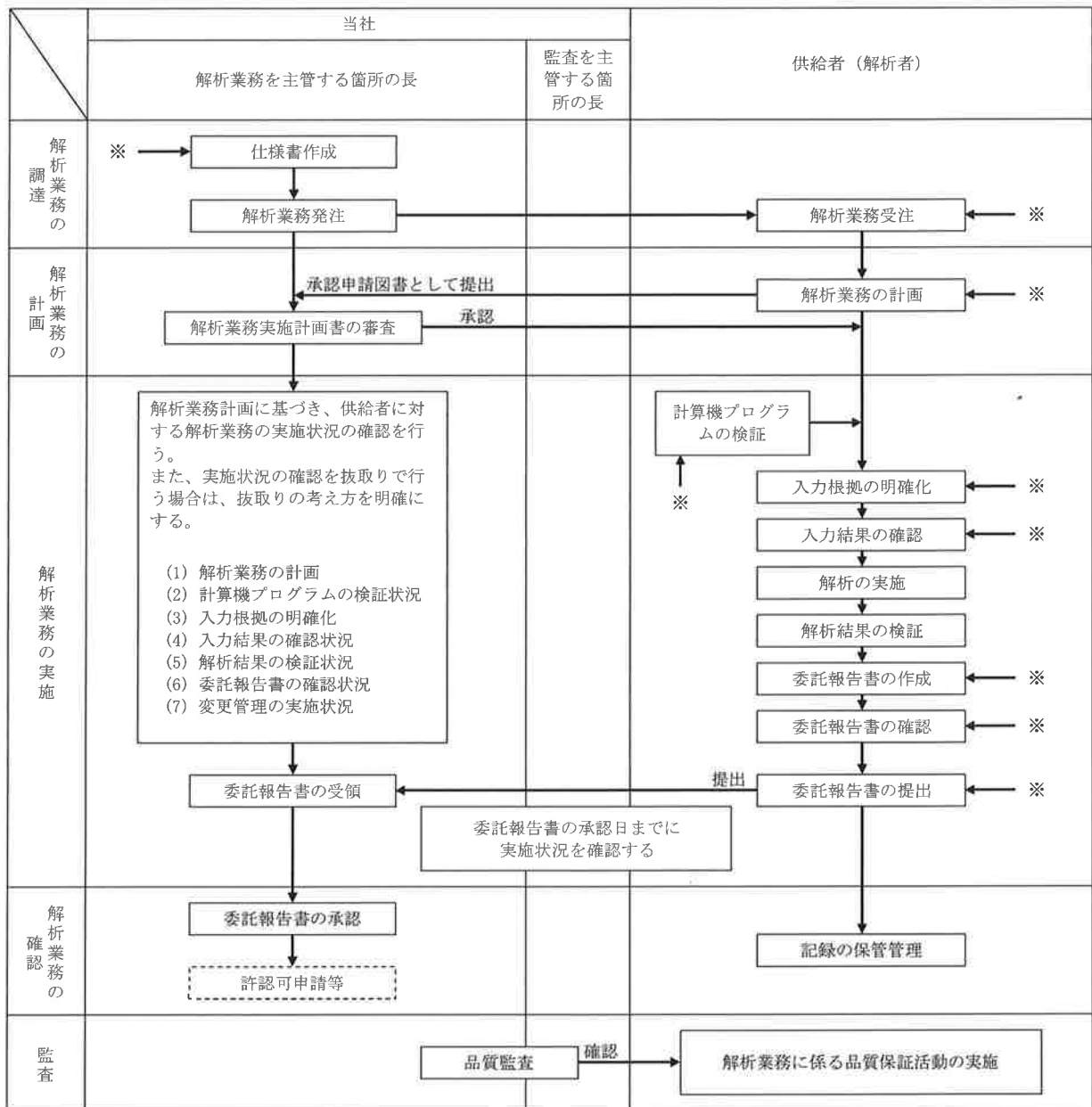
解析業務を主管する箇所の長は、供給者から委託報告書が提出されるまでに解析業務が確実に実施されていることを確認する。

当社の供給者に対する確認は「解析業務実施状況の確認チェックシート」を参考に、確認者を指名し実施する。

具体的な確認の視点を別表2に示す。

### 4. 委託報告書の確認

解析業務を主管する箇所の長は、供給者から提出された委託報告書が要求事項に適合していること、また供給者が実施した検証済みの解析結果が適切に反映されていることを確認する。



※：解析業務に変更が生じる場合は、各段階においてその変更を反映させる。

別図1 解析業務の流れ

管理の段階	設計、工事及び検査の業務フロー		組織内外の部門間の相互関係 ◎：主管箇所 ○：関連箇所			実施内容	添付本文 (記載項目)	証拠書類
	当社	供給者	事業本部 原子力	発電所	供給者			
仕様書の作成	仕様書の作成		◎	-	-	解析業務を主管する箇所の長は、「仕様書」を作成し、解析業務に係る要求事項を明確にした。	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.6.1 供給者の技術的評価</li> <li>3.6.2 供給者の選定</li> <li>3.6.3 調達製品の調達管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(委託・工事)仕様書</li> </ul>
解析業務の計画	解析業務実施計画書の審査、承認	解析業務実施計画書の作成、確認	◎	-	○	解析業務を主管する箇所の長は、供給者から提出された「解析業務実施計画書」で、計画（解析業務の作業手順/使用する計算機プログラムとその検証結果/解析業務の実施体制/解析結果の検証/委託報告書の確認/解析業務の変更管理/記録の保管管理）が明確にされていることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.6.3 調達製品の調達管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解析業務実施計画書（供給者提出）</li> </ul>
解析業務の実施	解析実施状況の確認	解析業務の実施	◎	-	○	解析業務を主管する箇所の長は、「解析業務実施状況の確認チェックシート」を用いて、実施状況（解析業務の計画状況/計算機プログラムの検証状況/入力根拠の明確化状況/入力結果の確認状況/解析結果の検証状況/委託報告書の確認状況/解析業務の変更管理状況）について確認した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.6.3 調達製品の調達管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解析業務実施状況の確認チェックシート</li> </ul>
委託報告書の確認	委託報告書の承認	委託報告書の作成、確認	◎	-	○	解析業務を主管する箇所の長は、供給者から提出された「委託報告書」で、供給者が解析業務の計画に基づき適切に解析業務を実施したことを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.6.3 調達製品の調達管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>委託報告書（供給者提出）</li> </ul>

別図2 本工事に係る設計・調達の流れ（解析）

別表1(1/2) 国に提出した解析関係の委託報告書等でデータ誤りがあった

不適合事例とその対策実施状況

No.	不適合事象とその対策	
1	報告年月	平成 22 年 3 月
	件 名	美浜 2, 3 号機耐震バックチェック中間報告書（追補版）の応力評価値誤りについて
	事 象	平成 21 年 3 月 31 日付け*で国等へ提出した「美浜発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書（追補版）」において、美浜 2 号機及び美浜 3 号機の一次冷却材管の応力評価値に誤りが確認された。 原因は、エクセルを用いた簡易評価を行う際、「地震応力」と「地震以外の応力」を取り違えて入力してしまったことにより発生したものであった。 ※：本事象は「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（平成 22 年 12 月発行、一般社団法人日本原子力技術協会）」（以下「解析ガイドライン」という。）の制定以前に発生した。
対策実施状況	対策として、チェックシートの改善、入力フォーム（エクセル）の色分けによる識別及び注意喚起を行った。 また、解析担当者（原解析者）以外の者による、入出力データのダブルチェックの実施を「原子力発電所請負工事一般仕様書」にて調達要求している。	
2	報告年月	平成 23 年 9 月
	件 名	高浜 3, 4 号機耐震安全性評価報告書の再点検結果の追加報告について
	事 象	原子力安全・保安院文書「九州電力株式会社玄海原子力発電所第 3 号機の原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震安全性評価における入力データの誤りを踏まえた対応について（指示）」（平成 23 年 7 月 22 日）を受け、指示があった九州電力と同じ調達先へ発注した原子炉建屋・原子炉補助建屋の入力データに加え、それ以外の調達先へ発注した原子炉建屋・原子炉補助建屋の入力データについても自主的に調査を実施した結果、平成 19 年度に実施した高浜 3, 4 号機の原子炉建屋の耐震安全性評価の解析において、3 箇所に入力データ誤りがあることが確認された。 原因は、解析を実施した平成 19 年当時*は解析担当者自身が入力データを確認することになっており、客観的な視点で誤入力をチェックできる体制になっていなかったことによるものであった。 ※：本解析は解析ガイドラインの制定以前に実施していた。
対策実施状況	解析業務に係る品質管理の充実を図るため、平成 23 年 3 月 8 日に「原子力発電所保修業務要綱指針」及び「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」を改正して解析ガイドラインを反映し、平成 23 年 4 月 8 日に施行して以下のとおり実施している。 ・解析担当者（原解析者）以外の者による、入出力データのダブルチェックの実施を、「原子力発電所請負工事一般仕様書」にて調達要求している。 ・「原子力発電所保修業務要綱指針」に基づき、許認可申請等に係る解析業務を調達する場合、「原子力発電所請負工事一般仕様書」の別紙「許認可申請等に係る解析業務に関する特別な品質管理の実施について」に基づく特別な品質管理を実施する旨を調達文書へ明記することにより、調達要求事項の明確化を図っている。 ・「原子力発電所保修業務要綱指針」に基づき、当社は契約の都度、調達先に対して「原子力発電所保修業務要綱指針」の別紙に基づく業務の実施状況の確認を行っている。 ・上記の事象を受け、更なる改善として、建屋の許認可申請等に係る解析業務については、当社による解析結果の全数チェックを自主的に実施している。	

別表1(2/2) 国に提出した解析関係の委託報告書等でデータ誤りがあった  
不適合事例とその対策実施状況

No.	不適合事象とその対策	
3	報告年月	平成 26 年 7 月
	件名	高浜発電所新規制基準適合性に係る審査会合のうち津波水位評価における入力データ誤りについて
	事象	<p>高浜発電所の設置変更許可申請書の補正に向けて、高浜発電所の津波影響評価に係るデータの最終確認を実施していたところ、「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 高浜発電所津波水位評価」における入力データ誤りを確認した。</p> <p>入力データ誤りについては、入力根拠書作成段階において、鉛直方向破壊伝播速度と地すべり地形変化分布図より、供給者が「地すべり終了時間」を算出しておらず、「破壊継続時間（120 秒）」を「地すべり終了時間」として誤って入力したものである。</p> <p>原因は、計算プログラムを変更（地形変化計算プログラムを追加）した際に、当社と供給者で解析に用いる入力根拠書の作成にコミュニケーションが不足していたことによるものであった。</p>
対策実施状況	原子力部門全体の入力根拠の確認方法を改善するため、解析業務の調達管理に関する品質マネジメントシステムの社内標準「原子力発電所保守業務要綱指針」及び「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」を改正した。	

別表2 解析業務を実施する供給者に対する確認の視点

No.	検証項目	当社の供給者に対する確認の視点
1	解析業務の計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析業務に係る必要な力量が明確にされ、また従事する要員（原解析者・検証者）が必要な力量を有していること。</li> <li>・解析業務をアウトソースする場合、解析業務に係る必要な品質保証活動を仕様書、文書等で供給者に要求していること。</li> </ul>
2	計算機プログラムの検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機プログラムは、適正なものであることを事前に検証し、リストへ登録していること。</li> <li>・バージョンアップがある場合は、その都度検証を行い、リストへ登録していること。</li> <li>・リストには、検証された計算機プログラム名称及びバージョンを明記していること。</li> </ul>
3	入力根拠の明確化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析業務実施計画書に基づき解析ごとに入力根拠を明確にしていること。</li> </ul>
4	入力結果の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機プログラムへの入力データに間違いがないことを確認していること。</li> <li>・エコーバック以外の方法で入力データを検証している場合は、入力桁数についても確認していること。</li> </ul>
5	解析結果の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析結果に問題がないことを、原解析者以外の者が検証していること。</li> </ul>
6	委託報告書の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機プログラムを用いた解析結果、又は汎用表計算ソフトウェアを用いた計算、若しくは手計算による解析・計算結果を、当社の指定する書式に加工及び編集して、委託報告書としてまとめていること。</li> <li>・作成された委託報告書が、解析業務実施計画書の内容を満足していることを確認していること。</li> </ul>
7	解析業務の変更管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析業務に変更が生じた場合は、変更内容を文書化し、解析業務の各段階（解析業務の調達、計画及び実施）においてその変更を反映していること。</li> </ul>

## 当社における設計管理・調達管理について

## 1. 供給者の技術的評価

契約を主管する箇所の長は、供給者（以下「取引先」という。）が要求事項に従って調達製品等を供給する能力を判断の根拠として、取引先の評価、登録及び再評価を「原子力部門における調達管理通達」に基づき実施する。

また、設工認については、取引先の評価を実施し、取引先の調達製品を供給する能力に問題はないことを確認しており、必要に応じて監査を実施している。

## 1.1 取引先の評価

契約を主管する箇所の長は、取引希望先に対して、契約前に信頼性、技術力、実績及び品質マネジメントシステム体制等について調査及び評価を行うものとする。

なお、評価基準については、設備重要度等に応じて定めることができる。

## 1.2 取引先の登録

取引先登録とは、評価の結果、取引先として認定することをいう。ただし、調達の都度、評価を行う場合（以下「都度評価」という。）は、取引先登録を省略することができる。

## 1.3 取引先の再評価

契約を主管する箇所の長は、登録取引先及び都度評価した取引先について、継続取引を行う場合には、経営状態、発注実績及び品質マネジメントシステム体制並びにその状況等についての再評価を定期的又は都度行い、継続取引の可否等を検討する。

なお、再評価基準については、設備重要度等に応じて定めることができる。

別表1 取引先に係るグレード分け

グレードの区分	対 象
第1種取引先	重要度分類Aクラス又はBクラスの機器施工会社、機器製作会社（メーカー）、機器の運転等業務委託会社
第2種取引先	上記以外の原子炉施設施工会社（土木建築工事施工会社を含む。）、機器製作会社（メーカー）、機器の運転等業務委託会社、第1種取引先又は第2種取引先の代理店
第3種取引先	原子炉施設関連の汎用（市販）品購入先、原子炉施設以外の施工・業務委託会社

## 2. 仕様書作成のための設計について

設計、工事を主管する箇所の長及び検査を担当する箇所の長は、「施設管理通達」、「設計・開発通達」及び「原子力部門における調達管理通達」に基づき、添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表1(1/2)」に示すAクラス、Bクラス及びCクラス並びに「別表1(2/2)」に示すSA常設のうち、保安規定品質マネジメントシステム計画「7.3 設計・開発」を適用する場合の仕様書作成のための設計を、設計・調達の管理の各段階（添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「別表2」に示す管理の段階Ⅱ、Ⅳ及びⅤ）において、管理を実施する。

なお、仕様書作成のための設計の流れを別図1(1/2)～(2/2)に示すとともに、仕様書作成のための設計に関する活動内容を以下に示す。

### 2.1 設計・開発の管理

#### 2.1.1 設計・開発の計画

設計を主管する箇所の長は、以下の事項を明確にした設計・開発の計画を策定する。

- (1) 設計・開発の段階（インプット、アウトプット、検証及び妥当性確認）
- (2) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認
- (3) 設計・開発に関する責任及び権限

#### 2.1.2 設計・開発へのインプット

設計を主管する箇所の長は、設計・開発へのインプットとして、以下の要求事項を明確にした実施方針等を作成する。

- (1) 機能及び性能に関する要求事項
- (2) 適用される法令・規制要求事項
- (3) 適用可能な場合には、以前の類似した設計から得られた情報
- (4) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項

#### 2.1.3 インプット作成段階のレビュー

設計を主管する箇所の長は、実施方針等の承認過程で、実施方針等の適切性をレビューする。



#### 2.1.4 アウトプットの作成

設計を主管する箇所の長は、アウトプットとして仕様書を作成する。

アウトプットは、調達管理に用いられることから、「原子力部門における調達管理通達」の要求事項も満たすように作成する。

#### 2.1.5 アウトプット作成段階のレビュー及び検証

設計を主管する箇所の長は、仕様書の承認過程で、仕様書が「原子力部門における調達管理通達」の要求事項を満たすように作成していることを確認するためにレビューするとともに、仕様書がインプットの要求事項を満たしていることを確実にするために対比して検証する。

インプット及びアウトプットのレビュー及び検証の結果の記録並びに必要な処置があればその記録を維持する。

なお、レビューへの参加者には、工事範囲がまたがる組織の長及び当該設計・開発に係る専門家を含め、必要に応じ、レビュー会議を開催する。

また、検証は適合性確認を実施した者の業務に直接関与していない上位職位の者に実施させる。

#### 2.1.6 設計・開発の検証（設備の設計段階）

設計又は工事を主管する箇所の長は、設計図書及び検査・試験要領書の審査・承認の段階で、調達要求事項を変更する必要がある場合、「原子力発電所保修業務要綱」等に基づき変更手続きを行う。

#### 2.1.7 設計・開発の妥当性確認

工事を主管する箇所の長又は検査を担当する箇所の長は、工事段階で実施する検査・試験の結果により、設計・開発の妥当性を確認する。

### 2.2 設計・開発の変更管理

設計を主管する箇所の長は、設計・開発の変更を要する場合、以下に従って手続きを実施する。

(1) 次の設計・開発の変更を明確にし、記録を維持する。

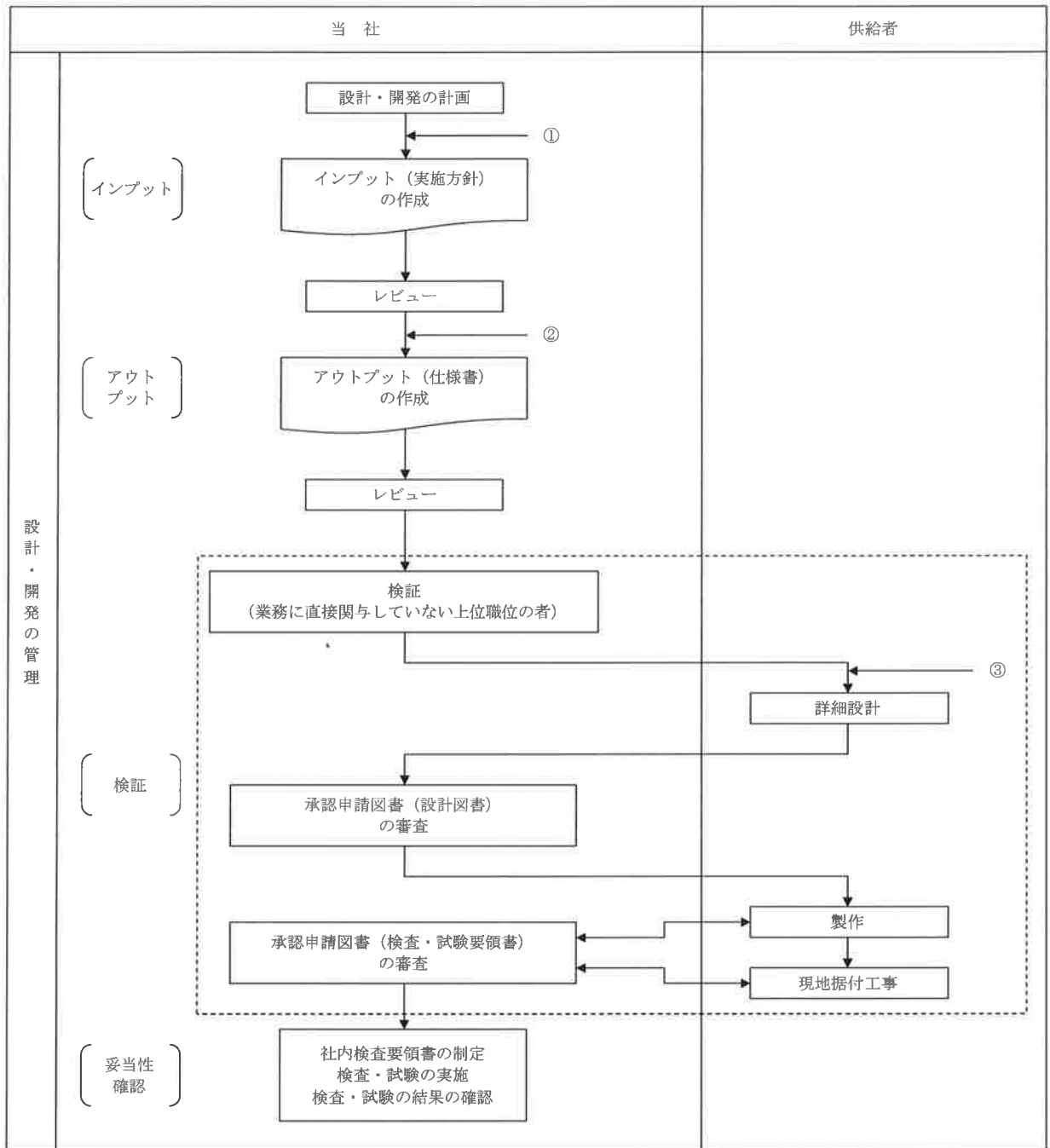
a. 仕様書の変更

b. 承認申請図書確認以降の調達先での内容変更

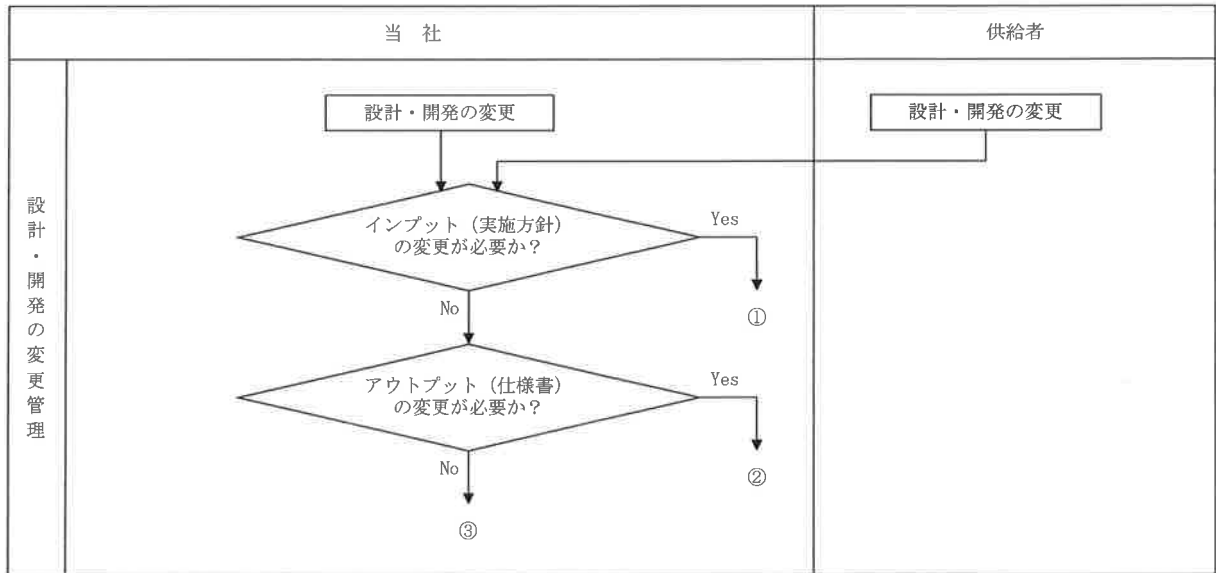
(2) (1)の変更に対し、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施す

る前に承認する。

- (3) レビューには、その変更が、原子炉施設を構成する要素及び関係する原子炉施設に及ぼす影響の評価を含める。
- (4) 変更のレビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。



別図1(1/2) 設計・開発業務の流れ



別図1(2/2) 設計・開発業務の流れ

資料 8 - 2 本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	M3-添8-2-1
2. 基本方針 .....	M3-添8-2-1
3. 設計及び工事に係るプロセスとその実績又は計画 .....	M3-添8-2-1

## 1. 概要

本資料は、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に基づく設計に係るプロセスの実績、工事及び検査に係るプロセスの計画について説明するものである。

## 2. 基本方針

美浜発電所第3号機における設計に係るプロセスとその実績について、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」に示した設計の段階ごとに、組織内外の関係、進捗実績及び具体的な活動実績について説明する。

工事及び検査に関する計画として、組織内外の関係、進捗実績及び具体的な活動計画について説明する。

適合性確認対象設備ごとの調達に係る管理のグレードと実績について説明する。

## 3. 設計及び工事に係るプロセスとその実績又は計画

「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」に基づき実施した、美浜発電所第3号機における設計の実績、工事及び検査の計画について、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」の様式-1により示す。

また、適合性確認対象設備ごとの調達に係る管理のグレードと実績について、「設計及び工事に係る品質管理の方法等に関する説明書」の様式-9により示す。

本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画 (1/3)

各段階	プロセス (設計対象) 実績 : 3.3.1~3.3.3(5) 計画 : 3.4.1~3.7.2	組織内外の相互関係 ◎ : 主担当 ○ : 関連			インプット	アウトプット	他の記録類	
		原子力 事業本部	発電所	供給者				
設計	3.3.1	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	○	◎	—	設置(変更)許可、技術基準規則、設置許可基準規則	—	業務決定文書：美浜発電所3号機 住友電工製三重同軸型電気ペネトレーション取替工事の工事計画認可申請の実施計画について、美浜3号機、高浜1, 2, 3, 4号機及び大飯3, 4号機 適合性確認対象設備の新検査制度への適合性確認について
	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	○	◎	—	設置(変更)許可、技術基準規則、設置許可基準規則	様式-2	
	3.3.3(1)	基本設計方針の作成 (設計1)	○	◎	—	様式-2、技術基準規則	様式-3、4	
						様式-2、4、技術基準規則、実用炉規則別表第二	様式-5	
						設置(変更)許可、技術基準規則、実用炉規則別表第二、設置許可基準規則	様式-6、7	
	3.3.3(2)	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計 (設計2)	○	◎	—	様式-5、様式-7 (基本設計方針)	様式-8	設計のレビュー・検証の記録 (設計段階)
	添付資料2 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書							
		原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部に関する設計	○	◎	—	設備図書、既工認	設計資料(設備別記載事項の設定根拠に関する説明書)	
	添付資料3 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書							
		健全性に係る設計	○	◎	—	既工認、設備図書、配置図、構造図、運転基準、定期事業者検査要領書、保全プログラム、定期事業者検査以外の試験検査に係る事項(長期計画等)	設計資料(安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書)	
添付資料4 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書								
	火災防護を行う機器等の選定	○	◎	—	既工認	設計資料(火災防護に関する説明書)		
	火災区域及び火災区画の設定	○	◎	—	既工認	設計資料(火災防護に関する説明書)		
	火災発生防止	○	◎	—	既工認、設備図書、民間規格、関係法令、技術資料(燃焼試験結果)	設計資料(火災防護に関する説明書)		
	火災の感知及び消火	○	◎	—	既工認、関係法令	設計資料(火災防護に関する説明書)		
	火災防護計画	○	◎	—	運用の措置に関する設計	設計資料(火災防護に関する説明書)		



本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画 (2/3)

各段階	プロセス (設計対象) 実績: 3.3.1~3.3.3(5) 計画: 3.4.1~3.7.2	組織内外の相互関係 ◎: 主担当 ○: 関連			インプット	アウトプット	他の記録類	
		原子力 事業本部	発電所	供給者				
設 計	3.3.3(2)	添付資料5 耐震性に関する説明書						
		地震による損傷の防止に関する設計	○	◎	○	設置(変更)許可、JEAG等の適用規格、既工認、設備図書、総括報告書	設計資料 (耐震性に関する説明書)	
		添付資料6 強度に関する説明書						
		材料及び構造に係る設計	○	◎	○	設備図書、JSME、一般産業品の規格及び基準、技術基準規則、総括報告書	設計資料 (強度に関する説明書)	
		添付資料7 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書						
		原子炉格納容器に係る設計	○	◎	—	既工認、設備図書、JSME、総括報告書	設計資料 (要目表、配置図、構造図、原子炉格納施設の設計条件に関する説明書)	
	3.3.3(3)	設計のアウトプットに対する検証	—	◎	—	様式-2~8	設計のレビュー・検証の記録 (設計の段階)	
	3.3.3(4)	設工認申請 (届出) 書の作成	—	◎	—	設計-1、2	設工認申請書案	設工認申請書品質チェックシート
	3.3.3(5)	設工認申請 (届出) 書の承認	—	◎	—	設工認申請書案	設工認申請書	原子力発電安全運営委員会議事録

本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画 (3/3)

各段階	プロセス (設計対象) 実績: 3.3.1~3.3.3(5) 計画: 3.4.1~3.7.2	組織内外の相互関係 ◎: 主担当 ○: 関連			インプット	アウトプット	他の記録類	
		原子力 事業本部	発電所	供給者				
工事 及び 検査	3.4.1 設工認に基づく具体的な設備の設計の実施 (設計3)	○	◎	—	設計資料	様式-8、仕様書	設計のレビュー・検証の記録 (工事の段階)	
	3.4.2 具体的な設備の設計に基づく工事の実施	—	◎	○	仕様書	工事記録		
	3.5.2 使用前事業者検査の計画	—	◎	○	様式-8 (中欄)	様式-8 (右欄)、使用前事業者検査工 程表 (計画)		
	3.5.3 検査計画の管理	—	◎	○	使用前事業者検査工程表 (計画)	使用前事業者検査工程表 (実績)		
	3.5.4 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者 検査の管理	—	◎	○	使用前事業者検査工程表 (計画)	使用前事業者検査工程表 (実績)		
	3.5.5 使用前事業者検査の実施		—	◎	○	様式-8	検査要領書	
						検査要領書	検査記録	
3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ	—	◎	○	—	検査記録			

適合性確認対象設備ごとの調達に係る管理のグレード及び実績（設備関係）

施設区分／設備区分／機器区分	名 称	グレードの区分					工事の区分 画保 7安 ・規 3定 品 質 設 計 ・ 開 発 」 の 適 用 シ ス テ ム 計	該当する業務区分※			備 考
		A、B クラス	C クラス	SA 常設	SA可搬			業務 区 分 I	業務 区 分 II	業務 区 分 III	
					工事等 含む	購入 のみ					
原子炉格納施設 原子炉格納容器 原子炉格納容器配線貫通部及び電気配線貫通部	電気配線貫通部	555,561	-	-	○	-	-	○	-		

※：「業務区分Ⅰ～Ⅲ」とは添付1「当社におけるグレード分けの考え方」の「1.2(1)～(3)」をいう。

## 2. 添付図面

## 目 次

- ・ 原子炉格納施設に係る機器の配置を明示した図面（原子炉格納容器）

【※「原子炉格納施設に係る機器の配置を明示した図面（原子炉格納容器）」は平成28年10月26日付け原規規発第1610261号にて認可された工事計画の添付図面第7-1-2図「原子炉格納施設に係る機器の配置を明示した図面（原子炉格納容器）（1/2）」による。】

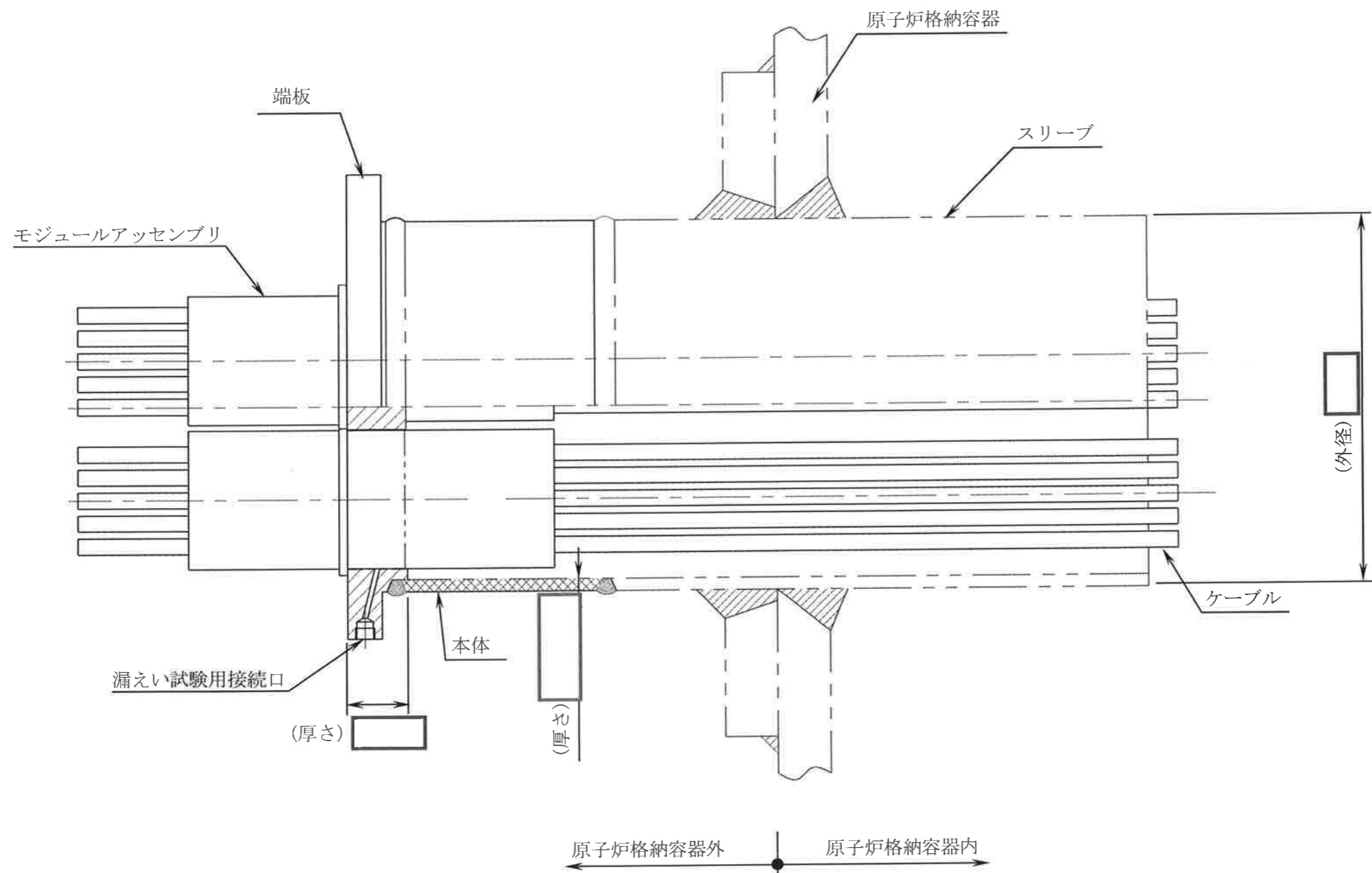
第 1 図 原子炉格納施設の構造図（原子炉格納容器）原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部（1/2）

第 1 図の補足

第 2 図 原子炉格納施設の構造図（原子炉格納容器）原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部（2/2）

第 2 図の補足

貫通部 番号	種 類	個 数	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	構 成	主要寸法 (mm)			材 料
						外 径	長 さ	厚 さ	
555 561	12B 電線 貫通部	2	0.261 0.305	122 138	本体 端板				



(単位: mm)

設計及び工事計画認可申請	第 1 図
美 浜 発 電 所 第 3 号 機	
原子炉格納施設の構造図 (原子炉格納容器) 原子炉格納容器配管貫通部 及び電気配線貫通部(1/2)	
関西電力株式会社	

第 1 図「原子炉格納施設の構造図(原子炉格納容器) 原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部 (1/2)」の補足

(1) 貫通部番号555、561の寸法許容範囲

工事計画記載の貫通部番号555、561に関する公称値の許容範囲は次のとおり

名 称			適用寸法 (mm)			備 考
			最大値	公称値	最小値	
555 561	本体	外径	<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 100px; margin: auto;"></div>			第 1 図
		厚さ				
	端板	厚さ				

(2) 許容範囲の根拠

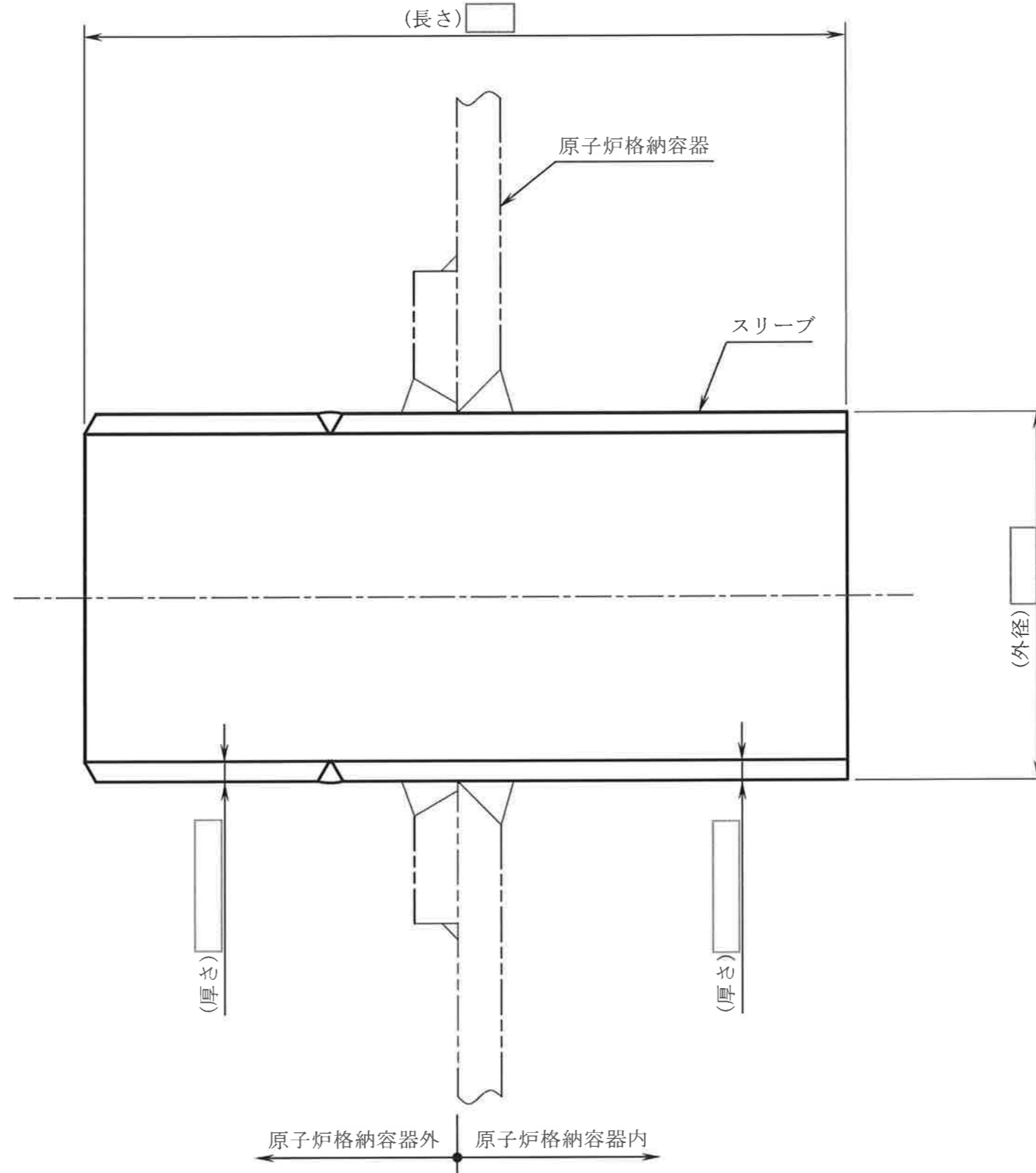
許容範囲の根拠となる許容差等は次のとおり

名 称			許容差	根 拠
555 561	本体	外径	公称値 <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> mm	JIS G 3455
		厚さ	公称値 <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> mm、 <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> mm	JIS G 3455
	端板	厚さ	公称値 <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> mm、 <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> mm	JIS G 4304

出典：日本産業規格 JIS G 3455 「表8 外径、厚さ及び偏肉の許容差(熱間仕上継目無鋼管、外径200mm以上、厚さ4mm以上)。ただし、厚さの-側許容値を0mmとする。」

日本産業規格 JIS G 4304 「表20 板の厚さの許容差(記号A)(厚さ 40.0以上、63.0未満、幅 1000未満)。ただし、-側許容値を0mmとする。」

貫通部 番号	種 類	個 数	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (℃)	構 成	材 料
555 561	12B 電線 貫通部	2	0.261 0.305	122 138	スリーブ	



設計及び工事計画認可申請	第 2 図
美 浜 発 電 所 第 3 号 機	
原子炉格納施設の構造図 (原子炉格納容器) 原子炉格納容器配管貫通部 及び電気配線貫通部 (2/2)	
関 西 電 力 株 式 会 社	

(単位 : mm)



第 2 図「原子炉格納施設の構造図（原子炉格納容器）原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部(2/2)」の補足

(1) 貫通部番号555、561の寸法許容範囲

工事計画記載の貫通部番号555、561に関する公称値の許容範囲は次のとおり

名 称			適用寸法 (mm)			備 考
			最大値	公称値	最小値	
555 561	スリーブ	外径				第 2 図
		長さ				
		厚さ				

(2) 許容範囲の根拠

許容範囲の根拠となる許容差等は次のとおり

名 称			許容差	根 拠
555 561	スリーブ	外径	公称値 <input type="text"/> mm	メーカー基準
		長さ	公称値 <input type="text"/> mm	メーカー基準
		厚さ	公称値 <input type="text"/> mm	メーカー基準
公称値 <input type="text"/> mm				