

「渦電流探傷試験、超音波探傷試験及び漏えい率試験に係る  
日本電気協会の規格の技術評価に関する日本電気協会への  
説明依頼事項(その1)」に対する回答(JEAC4203-2017)

令和2年11月9日  
(一社)日本電気協会  
原子力規格委員会

標記につきましては、以下の通り回答いたします。

○説明依頼事項

3. JEAC4203-2017「原子炉格納容器の漏えい率試験規程」に関する説明依頼質問

1) 「2.4.4 判定基準」においては、全体漏えい率試験で得られた平均漏えい率の上側 95% 信頼限界の値で判定すると規定していますが、「3.1.2.2 漏えい率計算式」及び「3.2.2.2 漏えい率計算式」に規定する漏えい率(%/d)の計算式((3.1.2)式、(3.2.4)式)には、測定誤差による変動分が考慮されていません。また、「計器計画における基本的検討確認事項」を規定した 3.1.3.1 項 (3) 及び 3.2.3.1 項 (5) には測定精度の検討に当たって考慮すべき主要項目が記載されています。下記に示す解説には測定誤差による検討が示されていますが、これらによる変動分を漏えい率(%/d)にどのように反映するのか説明してください。

- a.解説 3.1-1 及び解説 3.2-2 に示す計算式の簡略化による誤差
- b.解説 3.1-2 及び解説 3.2-3 に示す測定計器精度による誤差
- c.解説 3.1-3 及び解説 3.2-5 に示す温度測定数による誤差
- d.解説 3.2-4 に示す基準容器系原子炉格納容器外配管の温度変化による誤差  
(基準容器法の場合に限る。)

2) 「3.1.2.3 平均漏えい率及び信頼限界」及び「3.2.2.3 平均漏えい率及び信頼限界」に規定する%漏えい量  $Q$  の式は、回帰直線に切片を有する  $Q=a+bH$  の形式です。測定開始基準時刻からの%漏えい量  $Q$  を求める時、測定開始時は  $Q=0$  なので、 $a=0$  とした原点を通過する回帰直線  $Q=b'H$  としていない理由を説明してください。

また、3.1.2.3 項及び 3.2.2.3 項の (1) には「有意差がなければ、経過時間に対し無関係であり、バラツキの範囲で漏えい率は 0 である。」と規定していますが、一定の漏えいがあるという前提での試験に対してバラツキの範囲で漏えい率が 0 であるとするものの適切性について説明してください。

- 3) 「3.1.4.4 測定系の妥当性の確認」及び「3.2.4.4 測定系の妥当性の確認」には、「図 3.1.6 全体漏えい率試験結果」及び「図 3.2.6 漏えい率試験結果」に示す試験中の状態変化をプロットして確認する旨が規定されています。時系列データのばらつきに特異な変化がないか確認する方法とその判断基準について説明してください。
- 4) 「図 3.1.5 漏えい率試験結果」及び「図 3.2.5 漏えい率試験結果」の静定時間の%漏えい量変化を見ると、データ数が5点のみであり、初めの2点が下降しているため直線的に変化していると図で判断するのは困難です。同図の静定時間内の%漏えい量の変化で直線的と判断してよい根拠を説明してください。
- 5) 「3.2.4.4 測定系の妥当性の確認」において、「試験開始時点よりの%漏えい量、平均温度、蒸気圧及び差圧をグラフにプロットする」に対応した図を示し、説明してください。
- 6) 「3.1.4.5 データ処理」に示す「温度補正後の圧力」 $P'$ の補正式について根拠又は出典を示してください。
- 7) 「3.1.4.5 データ処理」において、原子炉格納容器内温度、露点温度については器差補正を行い、加重平均により測定時刻ごとの平均値を算出すると規定しています。このうち、加重平均の方法について説明してください。
- 8) 局部漏えい率試験の概念図例(図 4.4.1～図 4.4.7)には本設と仮設が混在して示されています。仮設の範囲を示してください。また、仮設の範囲に原子炉格納容器バウンダリが含まれる場合の仮設材撤去後のバウンダリ健全性確認方法を説明してください。

## ○回答

1) 「2.4.4 判定基準」においては、全体漏えい率試験で得られた平均漏えい率の上側 95% 信頼限界の値で判定すると規定していますが、「3.1.2.2 漏えい率計算式」及び「3.2.2.2 漏えい率計算式」に規定する漏えい率(%/d)の計算式((3.1.2)式、(3.2.4)式)には、測定誤差による変動分が考慮されていません。また、「計器計画における基本的検討確認事項」を規定した 3.1.3.1 項 (3) 及び 3.2.3.1 項 (5) には測定精度の検討に当たって考慮すべき主要項目が記載されています。下記に示す解説には測定誤差による検討が示されていますが、これらによる変動分を漏えい率(%/d)にどのように反映するのか説明してください。

- a. 解説 3.1-1 及び解説 3.2-2 に示す計算式の簡略化による誤差
- b. 解説 3.1-2 及び解説 3.2-3 に示す測定計器精度による誤差
- c. 解説 3.1-3 及び解説 3.2-5 に示す温度測定数による誤差
- d. 解説 3.2-4 に示す基準容器系原子炉格納容器外配管の温度変化による誤差  
(基準容器法の場合に限る。)

### 回答 1)

実プラントの原子炉格納容器の漏えい率試験を基準容器法で実施した場合のいずれの誤差も解説に示す通り許容漏えい率許容漏えい率に対して小さいことを示しており、それぞれの誤差は漏えい率には反映していません。

#### 【誤差の値】

- a. PWR:  $0.00354 \cdot \Delta T$  %/d、BWR: 0.003 %/d
- b. PWR: 最大 0.008%/d、BWR: 0.0346%/d

解説 3.1-2 では精密水銀気圧計及び精密水銀マンノメータの最小目盛りを踏まえての測定精度から誤差が最大となった場合における影響評価を行っているものである。

解説 3.2-3 では漏えい量: 0.5%/d と仮定した格納容器の状態に対して、試験に用いる計器や変換機の測定精度から格納容器内絶対圧力、格納容器と基準容器の差圧、格納容器内温度及び格納容器内の水蒸気分圧の測定誤差を算出し、漏えい量の誤差として影響評価を行っているものである。

- c. 格納容器全体漏えい率は、格納容器内温度(平均温度)にて評価しており、解説 3.1-3 項では、この平均温度を計測する上での計測器個数、計測位置の妥当性を示している。その根拠として、格納容器の 1/10 モデル(内径:3,500mm × 全高:6,885mm)に基づく検証試験にて高さ方向並びに平面半径方向の温度分布を検証し、分割断面は 5 断面以上で飽和状態(0.1°C未満の平均温度差)になること及び、1 断面当たりの計測数を東西南北 4 方向の平均温度と何れか 1 方向を計測した場合の温度差も半径比[R]=0.65~0.85 の範囲内で 0.1°C未満であることが検証結果として得られており、PWR 各プラントはこれを念頭においた計測位置となっている。

解説 3.2-5 項では測定数による平均温度の妥当性を確認するため実プラントでの実績値による影響確認を行い、基準容器に最低 1 個、合計で 5 個以上の温度計を設置すれば漏えい率評価への影響が十分に小さいことを示しています。

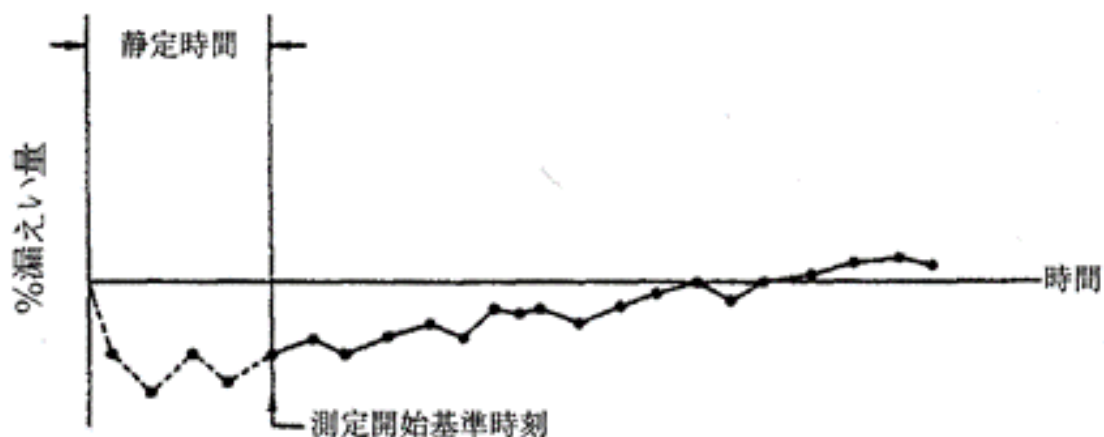
d. BWR:-0.006%/d

2) 「3.1.2.3 平均漏えい率及び信頼限界」及び「3.2.2.3 平均漏えい率及び信頼限界」に規定する%漏えい量  $Q$  の式は、回帰直線に切片を有する  $Q=a+bH$  の形式です。測定開始基準時刻からの%漏えい量  $Q$  を求める時、測定開始時は  $Q=0$  なので、 $a=0$  とした原点を通過する回帰直線  $Q=b'H$  としていない理由を説明してください。

また、3.1.2.3 項及び 3.2.2.3 項の (1) には「有意差がなければ、経過時間に対し無関係であり、バラツキの範囲で漏えい率は 0 である。」と規定していますが、一定の漏えいがあるという前提での試験に対してバラツキの範囲で漏えい率が 0 であるとするものの適切性について説明してください。

回答 2)

測定開始時は  $Q=0$  なので、最初のデータは原点上に位置します。この最初のデータが誤差やばらつきを含んでいる可能性があるため、回帰直線の切片  $a$  を考慮しています。



本規定では、分散分析により要因(経過時間)と観測データ(%漏えい量)との間の有意性の有無を検定しています。分散分析とは、観測データ(ここでは%漏えい量)における変動を誤差変動と各要因(ここでは経過時間)およびそれらの交互作用による変動に分解することによって、要因および交互作用の効果を判定する、統計的仮説検定の一手法です。観測データ(%漏えい量)が経過時間に対して有意差がなければ、観測データ(%漏えい量)の変動は経過時間に対して無関係であり、誤差変動によって変動していることとなります。したがって、漏えい率(%漏えい量の時間変化)は 0 であると判定します。

3) 「3.1.4.4 測定系の妥当性の確認」及び「3.2.4.4 測定系の妥当性の確認」には、「図 3.1.6 全体漏えい率試験結果」及び「図 3.2.6 漏えい率試験結果」に示す試験中の状態変化をプロットして確認する旨が規定されています。時系列データのばらつきに特異な変化がないか確認する方法とその判断基準について説明してください。

回答 3)

時系列データのばらつきに特異な変化がないかを確認する方法として、解説 3.1-5 に示す通り、格納容器内空気重量(Pm/T)が時間経過と共に低下傾向に変化していることをプロットすることで確認しています。

上記の値はプラント毎の特性を持ったバウンダリ状態に応じて示されるものであること、並びに傾向監視を目的としていることから、特に判断基準は設けていません。

4) 「図 3.1.5 漏えい率試験結果」及び「図 3.2.5 漏えい率試験結果」の静定時間の%漏えい量変化を見ると、データ数が5点のみであり、初めの2点が下降しているので直線的に変化していると図で判断するのは困難です。同図の静定時間内の%漏えい量の変化で直線的と判断してよい根拠を説明してください。

回答 4)

漏えい率試験を行う前の静定は、実態として5点のみではなく、10時間～15時間に渡って静定を行っており、その経過を確認の上で、安定したと判断できる時間を起点として、漏えい率試験を開始しています。

例で示すグラフは、試験開始2～3点目のデータとして、安定している判断となっているものであり、試験結果の図として特に問題はないと考えているが、次回の規格改定時にはより適切な図に改定することを予定しています。

5) 「3.2.4.4 測定系の妥当性の確認」において、「試験開始時点よりの%漏えい量、平均温度、蒸気圧及び差圧をグラフにプロットする」に対応した図を示し、説明してください。

回答 5)

図 5)-1~5 に各測定結果プロット図の例を示す。  
 プロット結果より、前後のデータを比較することで時系列データのばらつきに特異な変化がないことを確認することで妥当性を確認している。

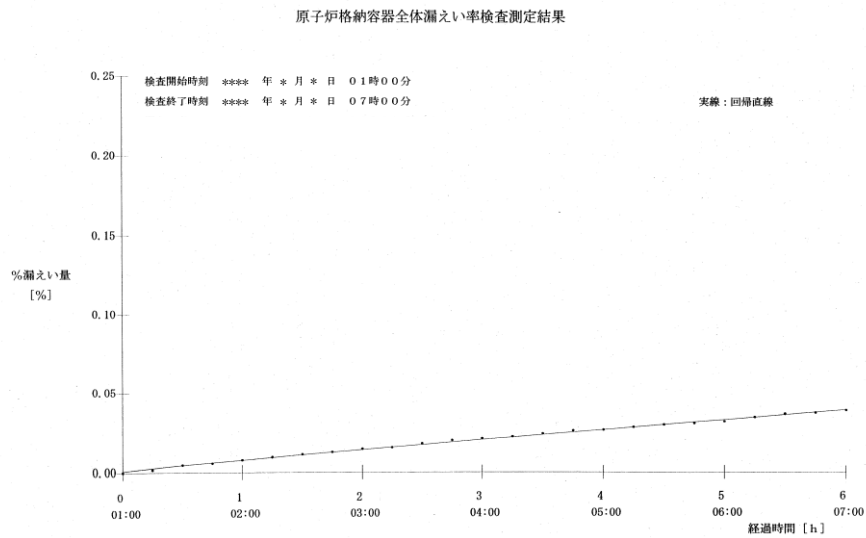


図 5)-1. %漏えい量測定結果

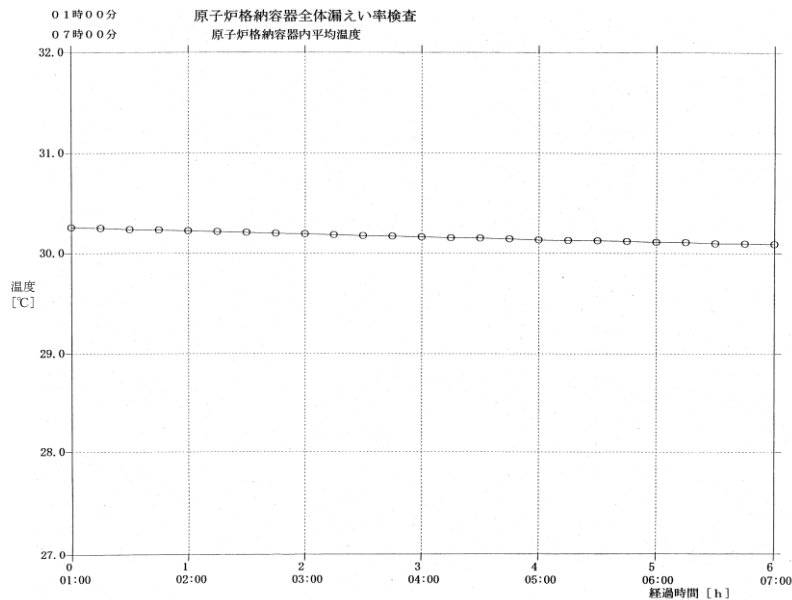


図 5)-2. 平均温度測定結果



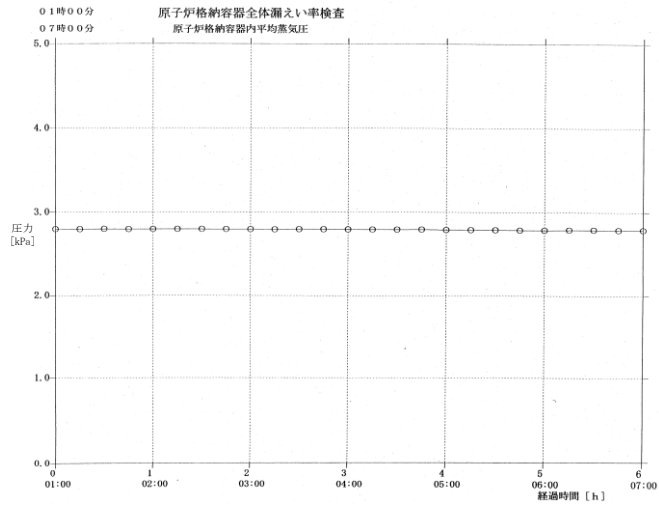


図 5)-3. 平均蒸気圧測定結果

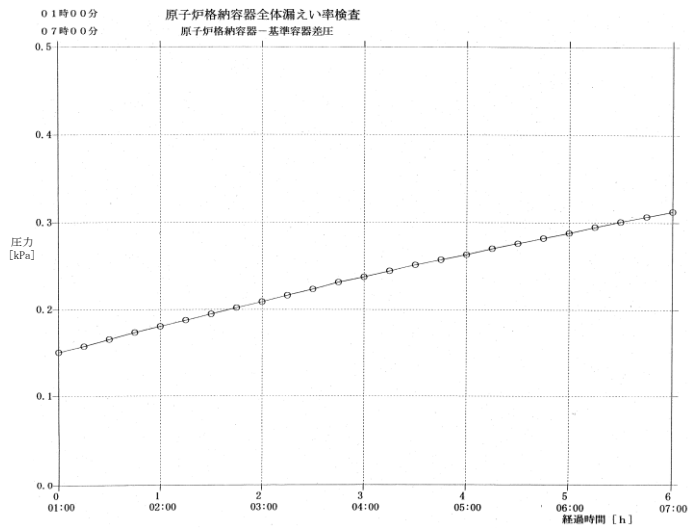


図 5)-4. 差圧測定結果

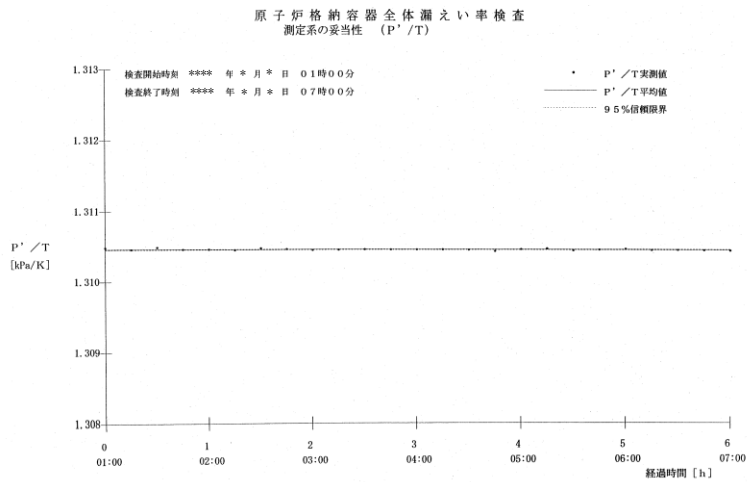


図 5)-5. P'/T 測定結果

6) 「3.1.4.5 データ処理」に示す「温度補正後の圧力」 $P'$ の補正式について根拠又は出典を示してください。

回答 6)

本文 3.1.4.5 に規定する以下に示す算出式

$$P = P' - P'' \pm \Delta P$$

$P$  : 大気圧及び、原子炉格納容器内圧力 (hPa) (注1)

$$P' : \text{温度補正後の圧力 } P' = P_r \left( 1 - \frac{0.0001638 t_b}{1 + 0.0001823 t_b} \right) \text{ (hPa) (注1)}$$

$$P'' : \text{重力による圧力補正值 } P'' = P' \left( 1 - \frac{g_m}{9.80665} \right) \text{ (hPa) (注1)}$$

$\Delta P$  : 器差 (校正值) (hPa)

$P_r$  : 圧力計読み値 (hPa) (注1)

$t_b$  : 圧力計付着温度計の読み値 (°C)

$g_m$  : プラント近傍の重力値 (m/s<sup>2</sup>)

(注1) 大気圧の場合は圧力計読み値が絶対圧 (hPa[abs]), 原子炉格納容器内圧力の場合は圧力計読み値がゲージ圧 (hPa[gage]) を使用する場合が多いことから単位に注意する。

なお、図 3.1.6 の作成にあたっては計測した原子炉格納容器内圧力に基づき原子炉格納容器内絶対圧力 (hPa[abs]) を算出する。

のうち、温度補正後の圧力( $P'$ )算出式の根拠として、参考文献(「気象観測の手引き」気象庁, 平成 10 年 9 月)に基づく展開を以下に示す。

水銀の体積膨張係数を  $\mu$ , 管(尺度)の線膨張係数を  $\lambda$  とすると、読み取り値に対する「温度補正值」 $C_t$  は

$$C_t = -P_r \cdot \frac{(\mu - \lambda)t_b}{1 + \mu t_b}$$

よって、温度補正後の圧力は

$$P' = P_r + C_t = P_r - P_r \cdot \frac{(\mu - \lambda)t_b}{1 + \mu t_b} = P_r \left( 1 - \frac{(\mu - \lambda)t_b}{1 + \mu t_b} \right)$$

水銀の体積膨張係数  $\mu = 0.0001823$

管(尺度)の線膨張係数  $\lambda = 0.0000185$

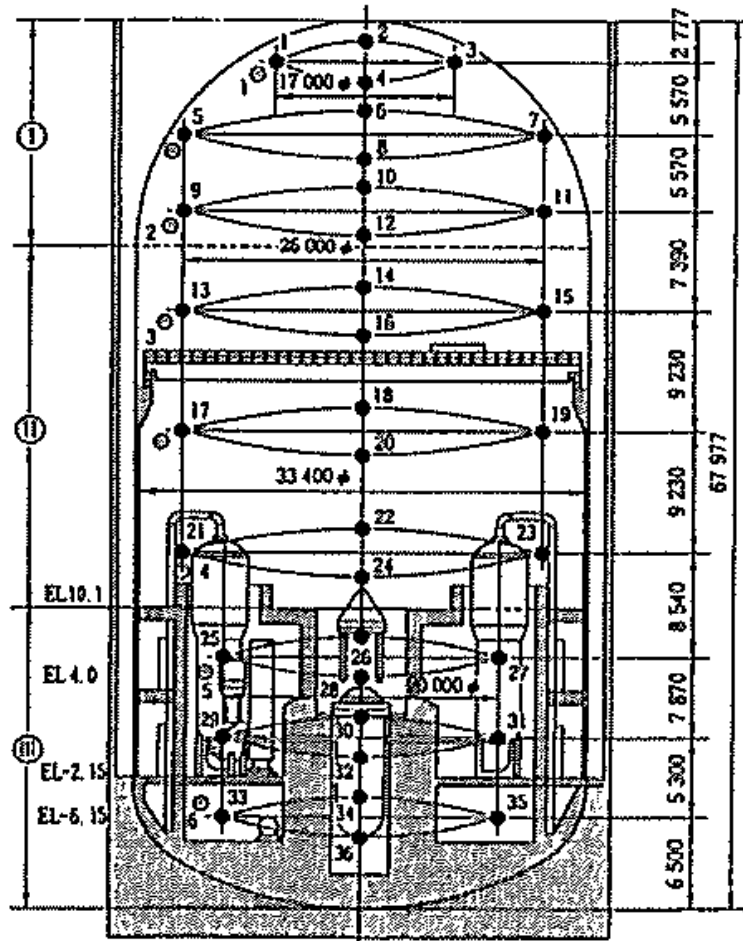
の値を用いると、以下の式となる。

$$P' = P_r \left( 1 - \frac{(0.0001823 - 0.0000185)t_b}{1 + 0.0001823t_b} \right) = P_r \left( 1 - \frac{0.0001638t_b}{1 + 0.0001823t_b} \right)$$

7) 「3.1.4.5 データ処理」において、原子炉格納容器内温度、露点温度については器差補正を行い、加重平均により測定時刻ごとの平均値を算出すると規定しています。このうち、加重平均の方法について説明してください。

回答 7)

PWR 原子炉格納容器内は体積が大きく、エリア毎の温度差も大きくなる場合がある。このため温度計測は、格納容器を高さ方向に仮想断面にてブロック分割(B1～B9)させ、分割断面毎に温度計測を行っています(図 7)-1 参照)。また、格納容器内には様々な設備が存在しており、分割断面毎に空間の欠損を考慮した体積(自由体積)から加重係数(格納容器全体を1とし、各ブロック毎に割り振った係数)を算出し、この数値を計測した値に積算し、最終的な評価用の加重平均を算出しています。(次頁表参照)



B1～B9:仮想断面毎のブロックNoを示す。

(計測データ処置方法は次頁参照)

図 7)-1.計測器配置例

(温度計測結果(加重平均)集計表)

ブロック (B)	温度計 (No)	補正後温度	ブロック温度	加重係数	$\theta k' = \theta k \times k_i$	加重平均 $\theta_m = \Sigma \theta k'$ (°C)
		$\theta_j$ (°C)	$\theta_k = \Sigma \theta_j / n$ (°C)			
1	1	*	*	*	*	*
	2	*				
	3	*				
	4	*				
2	5	*	*	*	*	
	6	*				
	7	*				
	8	*				
3	9	*	*	*	*	
	10	*				
	11	*				
	12	*				
4	13	*	*	*	*	
	14	*				
	15	*				
	16	*				
5	17	*	*	*	*	
	18	*				
	19	*				
	20	*				
6	21	*	*	*	*	
	22	*				
	23	*				
	24	*				
7	25	*	*	*	*	
	26	*				
	27	*				
	28	*				
8	29	*	*	*	*	
	30	*				
	31	*				
	32	*				
9	33	*	*	*	*	
	34	*				
	35	*				
	36	*				

(露点温度(水蒸気分圧)計測結果集計表)

ブロック (B)	露点温度	水蒸気分圧	加重係数	$P_{vj} = P_{vi} \times K_i$	加重平均
	$\theta_i$ (°C)	$P_{vi}$ (hPa)			$P_v = \Sigma P_{vj}$ (hPa)
1	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	
3	*	*	*	*	
4	*	*	*	*	
5	*	*	*	*	
6	*	*	*	*	
7	*	*	*	*	
8	*	*	*	*	
9	*	*	*	*	

8) 局部漏えい率試験の概念図例(図 4.4.1～図 4.4.7)には本設と仮設が混在して示されています。仮設の範囲を示してください。また、仮設の範囲に原子炉格納容器バウンダリが含まれる場合の仮設材撤去後のバウンダリ健全性確認方法を説明してください。

回答 8)

局部漏えい率試験の図4.4.1～図4.4.7は試験の概念図例を示すものであり、本設と仮設の区別は各プラントによっても異なるケースが想定されることから、明確に示していません。

なお、仮設材撤去後は、試験終了後に確立された施工手順に従いプラグ、フランジ等により閉止されるため、閉止部からの漏えい量は無視できるものと考え、健全性の確認は必要ないと判断しています。しかしながら、万一閉止されていなかった場合を想定し、総合漏えい率へ及ぼす影響を以下に示す。

局部漏えい率試験の加圧方法は、加圧系統がCV外にある場合(図1)、CV内にある場合(図2)の2ケースが考えられる。当該貫通部を経由したCV外への漏えい量は、加圧系統がCV外の場合(図1)はCV内の弁の漏えい量 $L_1$ 、加圧系統がCV内の場合(図2)はCV外の弁の漏えい量 $L_2$ を超えることはなく、いずれの場合も局部漏えい率試験の評価漏えい率試験の評価漏えい量 $L_1+L_2$ よりも小さくなる。仮設の範囲に原子炉格納容器バウンダリは含まれないため、この関係は仮設設備接続部が閉止されていなくても成立する。

