

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添4-002-03
提出年月日	2021年11月4日

VI-4-2-3 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

2021年11月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 遮蔽設計評価の基本方針	1
2.2 遮蔽設計の設計基準線量率	1
2.3 遮蔽設計の方法	3
2.4 遮蔽設計の前提条件	3
2.5 熱除去に関する設計	4
3. 線源評価	5
3.1 概要	5
3.2 核分裂生成物の放射能濃度	6
3.3 腐食生成物の放射能濃度	7
3.4 機器等の放射能濃度	8
3.4.1 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	8
3.5 機器等の線源強度	8
4. 補助遮蔽評価	9
4.1 計算方法	9
4.2 線量率計算	9
4.2.1 機器室の線量率計算モデル	9
4.2.2 機器室の線量率	12
4.3 貫通部に対する考慮	13
4.3.1 開口部	13
4.3.2 配管等の貫通部	13
5. 熱除去の評価	16
5.1 補助遮蔽の熱除去の評価	16
5.1.1 補助遮蔽における入射線量の設定方法	16
5.1.2 補助遮蔽における温度上昇の計算方法	16
5.2 温度上昇のまとめ	16

1. 概要

本説明書は、「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」第42条並びにそれらの「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」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

2. 基本方針

2.1 遮蔽設計評価の基本方針

今回の申請で対象とする生体遮蔽装置は、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の補助遮蔽であり、具体的な申請箇所はVI-6 図面「7.3 生体遮蔽装置」に示すとおりである。

補助遮蔽は、放射性物質を内包する機器及び配管（以下「機器等」という。）を取り囲む構造物である。この遮蔽は、通常運転時、機器等からの放射線を減衰させ、その外側区域の設計基準線量率を満足させるものである。

通常運転時における遮蔽設計評価においては、建物内外を区画し、それぞれの区画に対し表2-1に示す外部放射線に係る設計基準線量率（以下「設計基準線量率」という。）を定め、生体遮蔽装置厚さに対し、線源となる機器等からの線量率計算結果が、設計基準線量率を満足していることを確認することにより、遮蔽設計が十分であるものと評価する。なお、補助遮蔽は、放射性物質を内包する機器等を隔てる遮蔽と、管理区域外とを隔てる遮蔽があるが、管理区域内の遮蔽設計基準については、放射線業務従事者の立入頻度、滞在時間等を考慮し設定されていることから、補助遮蔽設計評価については、管理区域外（管理区域境界壁外側）で人が容易に接近可能な場所に対する生体遮蔽装置厚さが、その設計基準線量率を満足することを確認する。

2.2 遮蔽設計の設計基準線量率

通常運転時、放射線業務従事者の受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（原子力規制委員会告示第14号）に定められた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線業務従事者の作業性を考慮して、遮蔽、機器の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気等、所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮蔽設計に際しては、放射線業務従事者の関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、外部放射線に係る線量率が表2-1の設計基準線量率を満足する設計とする。通常運転時における区域区分は、VI-1-1-2「人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における線量に関する説明書」に示すとおりである。

表2-1 設計基準線量率

区 分		基準外部放射線量率
非管理区域	A：非管理区域	1.3mSv/3か月以下*
管理区域	B：週48時間以内立入るところ	0.01mSv/h以下
	C：週10時間以内立入るところ	0.06mSv/h以下
	D：週5時間以内立入るところ	0.12mSv/h以下
	E：ごく短時間しか立入らないところ	0.5mSv/h以下
	F：通常立入らないところ	0.5mSv/h超過

注記*：設計基準線量率は、500h/3か月を考慮し、0.0026mSv/h以下とする。

2.3 遮蔽設計の方法

生体遮蔽装置の遮蔽設計方法は、原則として以下のとおりである。

- (1) 線源となる機器等は、コンクリートの遮蔽壁で囲まれた区画に收容する。
- (2) 線源となる機器等を收容した区画の区域区分を設定する。
- (3) 線源となる機器等の通常運転時又は機器作動時等に予想される線源強度を計算する。
- (4) 遮蔽計算は、対象となる機器等の線源強度及び幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して生体遮蔽装置外側表面の線量率を計算する。
- (5) 上記の計算結果が、表2-1に示す設計基準線量率を満足するような遮蔽厚さにする。

ただし、実際の生体遮蔽装置の厚さは、構造上の要素も考慮されるため、放射線遮蔽上から要求される厚さより大きくなっている場合もある。

補助遮蔽の放射線の線源計算と線量率の計算手順を図2-1に示す。

2.4 遮蔽設計の前提条件

補助遮蔽の遮蔽設計に用いる前提条件は以下のとおりである。

- (1) コンクリート壁は鉄筋コンクリートであるが、評価上コンクリートのみとして評価する。
- (2) コンクリート密度は、 $2.02\text{g}/\text{cm}^3$ とする。
- (3) 遮蔽計算に用いるコンクリート壁の遮蔽厚さは、線量率、熱除去評価上、公称値からマイナス側許容差（一般に 5mm ）を引いた値を用いる。
- (4) 機器を線源とする場合、機器の線源モデル表面と壁までの距離は、公称値からマイナス側許容差（一般に $\square\text{mm}$ ）を引いた値を用いる。
- (5) 配管を線源とする場合、配管長を $\square\text{m}$ とし、配管の線源モデル表面と遮蔽壁（線源機器を取り囲む壁、床、天井）内側表面の距離は、原則 $\square\text{mm}^*$ とする。
- (6) 補助遮蔽の線量率の評価は、1区画に複数の機器が收容される機器室の場合、複数の機器を見込む遮蔽壁に対し複数の機器からの線量率を、1つの機器の場合、遮蔽壁に対し1つの機器からの線量率を計算する。

注記*：設計上確保する距離。

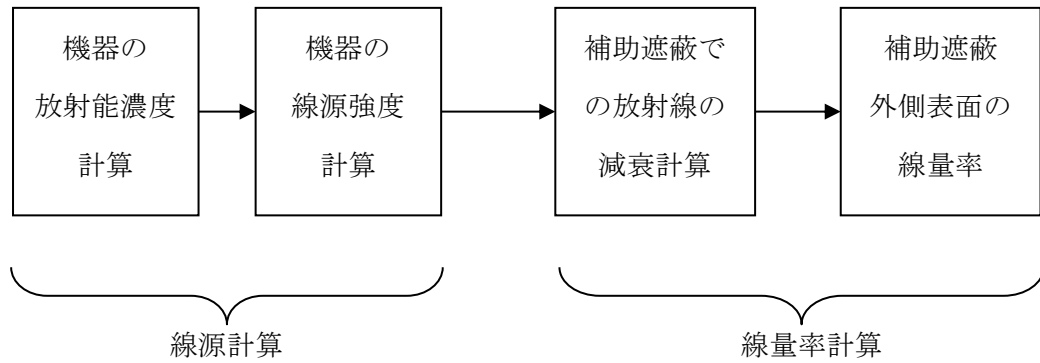


図2-1 放射線の線源計算と線量率計算の手順

2.5 熱除去に関する設計

生体遮蔽装置の熱除去に関する設計のために、ガンマ線による補助遮蔽壁での発熱量を評価し、その評価結果が、「遮蔽設計基準等に関する現状調査報告（1977年，日本原子力学会）」において示されている以下の温度制限値以下に収まっていることを確認する。なお、今回の申請対象である屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の生体遮蔽装置は、線源がガンマ線であるため、ガンマ線遮蔽に対する温度制限値が設計基準となる。

- (1) 中性子遮蔽 : 内部最高温度 88℃／周辺最高温度 71℃
- (2) ガンマ線遮蔽 : 内部最高温度 177℃／周辺最高温度 149℃

3. 線源評価

3.1 概要

補助遮蔽壁の線源は、原子炉冷却材中に含まれる核分裂生成物及び放射化された腐食生成物等があり、補助遮蔽壁の対象となる機器等に応じて放射能濃度を求める。

線源となる機器等から放出するガンマ線エネルギーは、以下に示す代表エネルギー（ガンマ線放出割合 %）*とする。

代表エネルギー	該当する系統，機器
<input type="text"/> MeV	制御棒駆動系（制御棒駆動水圧系）
<input type="text"/> MeV	上記以外の系統，機器

注記*：「BWRの遮蔽設計における線源項と線量率区分について」，昭和55年3月，電気事業連合会 改良標準化検討会遮蔽設計グループ

3.2 核分裂生成物の放射能濃度

原子炉冷却材中の核分裂生成物の放射能濃度は、希ガス30分減衰時 Bq/sに相当する濃度とし、核種組成及び核種ごとの放射能濃度を表3-1に示す。

表3-1 原子炉冷却材中核分裂生成物放射能濃度（単位：Bq/g）

核種	放射能濃度	核種	放射能濃度		
I-131	<input type="text"/>	Tc-101	<input type="text"/>		
I-132		Te-129m			
I-133		Te-132			
I-134m		Cs-134			
I-134		Cs-136			
I-135		Cs-137			
I-136m		Cs-138			
I-136		Ba-139			
I-137		Ba-140			
I-138		Ba-141			
Br-83		Ba-142			
Br-84m		Np-239			
Br-84		Zr-95			
Br-85		Zr-97			
Br-86		Nb-95			
Br-87		Ru-103			
Br-88		Ru-106			
Sr-89		Ce-141			
Sr-90		Ce-143			
Sr-91		Ce-144			
Sr-92		Pr-143			
Mo-99		Nd-147			
Tc-99m		-		-	
合計放射能濃度				<input type="text"/>	

3.3 腐食生成物の放射能濃度

原子炉冷却材中の腐食生成物の放射能濃度は Bq/gとし、核種組成及び核種ごとの放射能濃度を表3-2に示す。

表3-2 原子炉冷却材中腐食生成物放射能濃度（単位：Bq/g）

核種	放射能濃度	核種	放射能濃度
Na-24		Co-60	
P-32		Ni-63	
Cr-51		Ni-65	
Mn-54		Cu-64	
Mn-56		Zn-65	
Fe-55		Zn-69m	
Fe-59		Ag-110m	
Co-58		W-187	
合計放射能濃度			

3.4 機器等の放射能濃度

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内機器等の系統内放射能濃度は、3.2項から3.3項で示した原子炉冷却材中の放射能濃度に基づき計算する。

3.4.1 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内には、高圧炉心スプレイ系、原子炉隔離時冷却系、復水輸送系、液体廃棄物処理系及び制御棒駆動系（制御棒駆動水圧系）の配管が通っており、これら配管中の核分裂生成物及び腐食生成物を線源とする。

系統	接続	ガンマ線 エネルギー (MeV)	放射能濃度 (Bq/cm ³)
高圧炉心スプレイ系	復水貯蔵タンクより	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
原子炉隔離時冷却系	復水貯蔵タンクより	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
復水輸送系	復水貯蔵タンクより	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
液体廃棄物処理系	液体廃棄物処理系 機器ドレンろ過脱塩器より	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	液体廃棄物処理系 機器ドレン処理水タンクより	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
制御棒駆動系（制御棒駆動水圧系）	復水貯蔵タンクより	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	制御棒駆動水圧ポンプ出口より	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.5 機器等の線源強度

機器等の線源強度は、3.4項で示した機器等の放射能濃度に、ガンマ線放出割合を乗じて求める。ガンマ線放出割合は%とする。

4. 補助遮蔽評価

4.1 計算方法

補助遮蔽の計算は、遮蔽内に設けた線源となる機器等に対し、遮蔽壁外側表面において原則として通常人が立ち入る高さの範囲で線量率が最大になる位置について行う。

遮蔽計算には、点減衰核積分法コード「QAD-CGGP2R」を用いる。なお、評価に用いる解析コードQAD-CGGP2Rの検証、妥当性評価については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

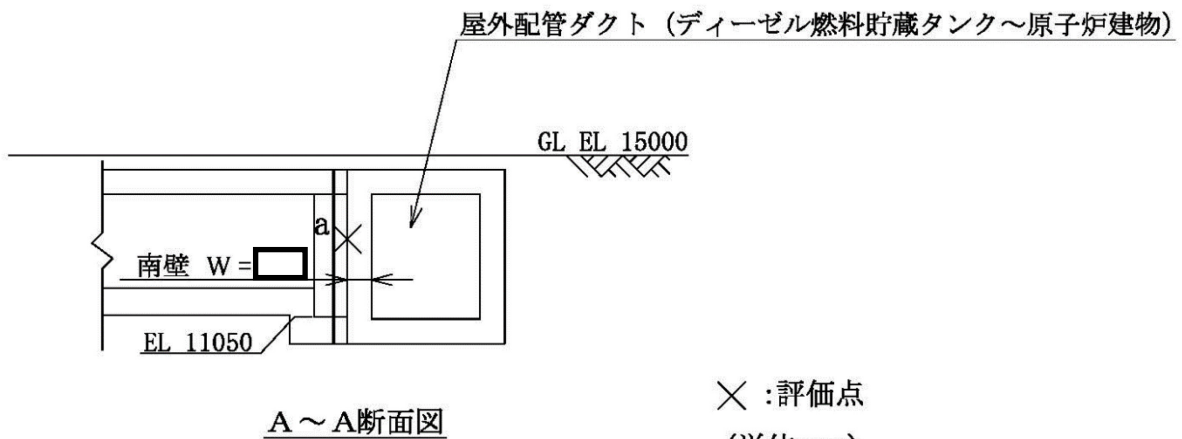
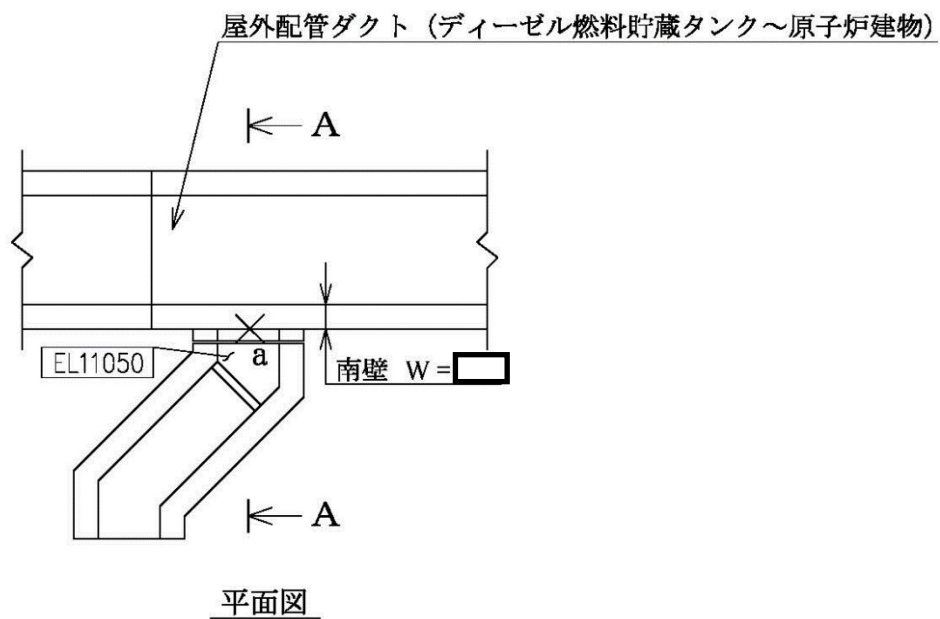
- ・線源強度
- ・遮蔽厚さ
- ・線源からの距離
- ・線源のエネルギー
- ・線源となる機器等の形状
- ・遮蔽体の物質の指定

4.2 線量率計算

線量率の計算は、補助遮蔽壁の対象となる機器等ごとに行う。3.4項で選定した機器等周りの補助遮蔽壁外側表面の線量率計算は、4.1項に示した入力条件を計算コードに入力して行う。

4.2.1 機器室の線量率計算モデル

図4-1及び図4-2に屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の計算配置図及び計算モデル図を示す。屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の壁に対する線量率計算では、線源となる配管と評価点の関係は、それぞれの線源の中心軸上に評価点を置き、各評価点での線量率の合計値として計算する。



× : 評価点
(単位:mm)

注: 特記なき寸法は公称値を示す。

図4-1 屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) の計算配置図

配管（線源：屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の配管）



S2 補 VI-4-2-3 R0

×：評価点

（単位：mm）


配管サイズ	本数	半径 (r)	肉厚 (t)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注：特記なき寸法は公称値を示す。

図4-2 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の計算モデル図

4.2.2 機器室の線量率

機器室からの線量率計算結果を下表に示す。機器室の管理区域境界壁外側表面の線量率は、2.2項に示す設計基準線量率を満足することを確認した。

機器室	計算配置図	計算モデル 図	評価点	壁厚 (mm)	基準線量率 (mSv/h)	線量率 (mSv/h)
屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	図4-1	図4-2	a		0.0026	3.3×10^{-5}

4.3 貫通部に対する考慮

生体遮蔽装置に、機器室、配管・弁室及び保守室（以下「機器室等」という。）への放射線業務従事者の出入や物品等の搬出入のための開口部を設置する場合、又は、ダクト、配管、ケーブルトレイ、計装配管等の設置のための貫通部（以下「配管等貫通部」という。）を設置する場合は、「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」第42条並びにそれらの「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」を遵守し、過度な被ばくを防止するために、必要に応じて、放射線漏えい防止措置を講じることとする。

本項は、生体遮蔽装置のうち補助遮蔽に設置する機器室等及び配管等貫通部に対する放射線の漏えい防止措置の基本方針を示すものである。

4.3.1 開口部

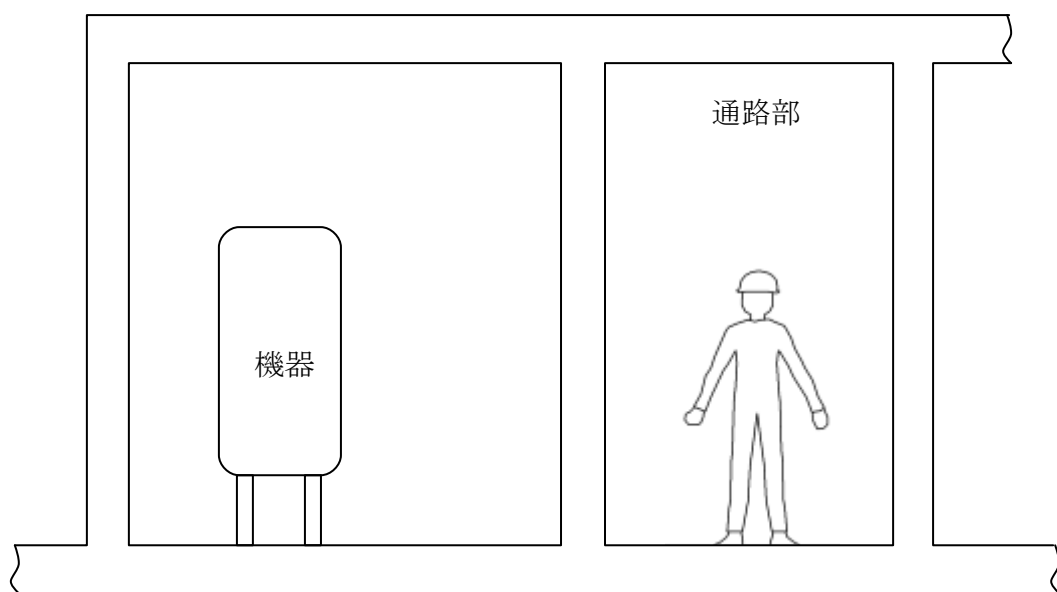
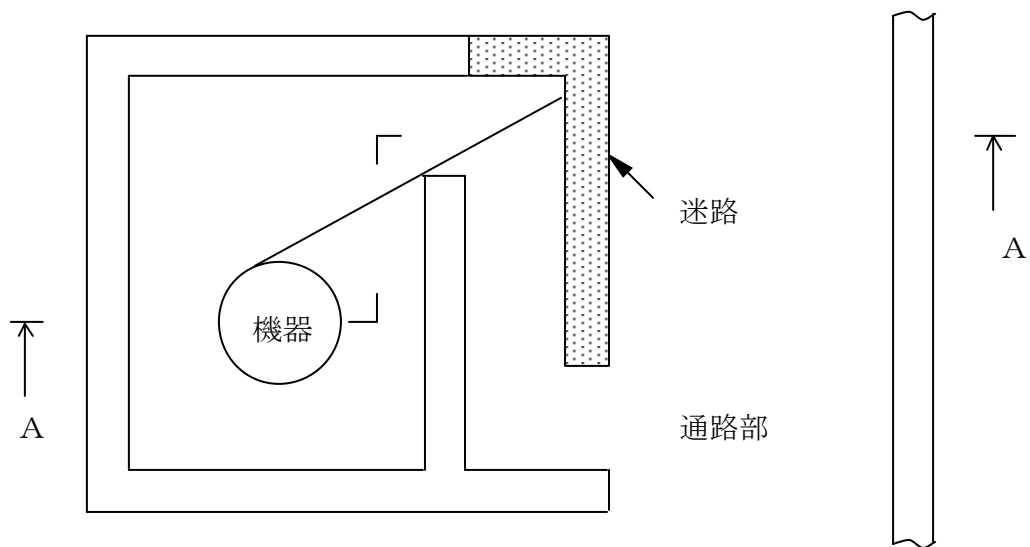
- (1) F区分、E区分、D区分及び不定期線源の機器室等の開口部がB区分及びC区分の範囲に向いている場合は、原則として開口部を迷路構造とする。迷路構造とする補助遮蔽の厚さは、B区分及びC区分の設計基準線量率を満足する厚さとする。開口部の設置例を図4-3に示す。
- (2) (1)項において迷路構造が必要と判断された場合のうち、物品の搬出入、機器の保守、配置上の制約等で、適切な迷路構造とできない開口部については、原則として開口部に遮蔽扉等の対策を講じる。更に、制約等で適切な構造とできない開口部については、一時的遮蔽の設置等の放射線管理を行う。

4.3.2 配管等の貫通部

配管等の補助遮蔽壁貫通部は、原則として放射線漏えいが問題とならないよう以下の考え方に従いその位置を決め、放射線漏えいを防止する。

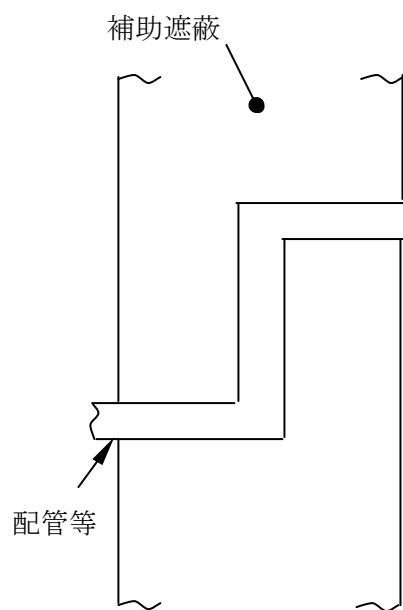
- ・貫通部は、原則として床上2mを超える高い位置に設置する。
- ・貫通部は、原則として貫通部を通して線源となる機器、配管が直接見通せない位置に設置する。
- ・隣接する貫通部は、可能な限り間隔を開ける。
- ・貫通部の大きさは、可能な限り小さくする。

ただし、放射線漏えいが問題となる位置に設置せざるをえない場合は、図4-4に示すように配管貫通部のスリーブに遮蔽補強材を設け、ダクトはオフセットダクトにすること等により、放射線漏えいを防止する。



A-A断面図

図4-3 開口部の設置例



(オフセットダクトの例)

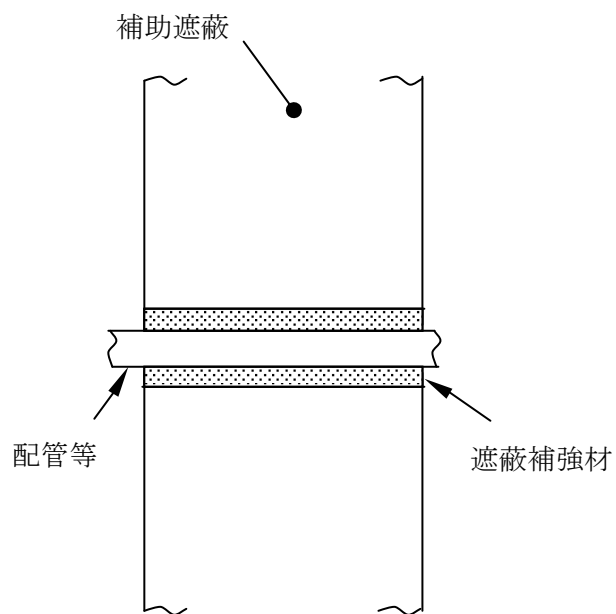


図4-4 配管等の貫通部に対する放射線漏えい防止措置の例

5. 熱除去の評価

遮蔽体の熱除去の評価は、遮蔽体中の温度上昇が厳しい箇所を想定し、伝熱理論に基づいた解析手法により評価する。

5.1 補助遮蔽の熱除去の評価

5.1.1 補助遮蔽における入射線量の設定方法

熱除去の評価に用いる遮蔽体表面の入射線量として、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内の各線源配管表面線量率の合計値よりガンマ線の入射線量を設定する。

5.1.2 補助遮蔽における温度上昇の計算方法

遮蔽体は主にコンクリートで構成されており、評価上、コンクリートのみとして評価する。入射線量から遮蔽体表面のガンマ線発熱量を求め、温度上昇を（5.1）式から算出する。入射線量、ガンマ線発熱量及び遮蔽体の温度上昇について表5-1に示す。

$$\Delta T = Q \times 1000 / (c \cdot \rho) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ΔT : 温度上昇(°C/h)

Q : コンクリート表面でのガンマ線発熱量(kJ/(cm³・h))

c : コンクリートの比熱(1.05(kJ/(kg・°C))*)

ρ : コンクリートの密度(2.02(g/cm³))

注記* : 2007年制定 コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 土木学会

5.2 温度上昇のまとめ

補助遮蔽のコンクリート遮蔽体表面でのガンマ線による温度上昇は約 7×10^{-8} °C/hとなり、ガンマ線による温度上昇は無視できる。なお、本温度評価は、保守的にコンクリートの断熱状態を仮定した評価である。

表5-1 補助遮蔽のガンマ線による温度上昇

線源	入射線量(Gy/h)	ガンマ線発熱量 (kJ/(cm ³ ・h))	温度上昇(°C/h)
屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内の配管	7.2×10^{-5}	1.5×10^{-10}	6.9×10^{-8}