

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	遮蔽 03 <u>R 4</u>
提出年月日	令和 4 年 <u>8 月 3 日</u>

設工認に係る補足説明資料

遮蔽設計における計算条件及び計算モデルの
設定について

目次

1. 概要 1
2. 燃料集合体用輸送容器の線源設定について 2
3. 燃料集合体貯蔵設備の線源設定について 4
4. 燃料加工建屋の計算モデルの設定について 5

1. 概要

本資料は、MOX 燃料加工施設の第 1 回設工認申請のうち、以下に示す添付書類に示す遮蔽設備に対する設計方針を補足説明するものである。

- ・ MOX 燃料加工施設 添付書類「Ⅱ 放射線による被ばくの防止に関する説明書」

本資料では、上記添付書類において記載している遮蔽設計の入力条件の設定根拠を示すとともに、線源を有する機器の構造及び配置の概要を用いて、計算モデルの設定の考え方について示す。

2. 燃料集合体用輸送容器の線源条件について

燃料集合体を輸送する燃料集合体用輸送容器（BM型輸送物）の線源強度については、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年総理府令第57号）」の第6条第1項に定められる燃料集合体用輸送容器表面における線量当量率である 2mSv/h 及び燃料集合体用輸送容器表面から 1m 離れた位置における線量当量率 $100\mu\text{Sv/h}$ に基づき設定する。具体的には線量評価を行い、表面及び表面から 1m の線量当量率を算出し、2つの基準のうち、厳しい方の値が基準値となる値を燃料集合体用輸送容器の線源強度に設定する。

計算体系は、燃料集合体用輸送容器と体積（第2-1図参照）を保存した半径 1.05m の球を線源とする1次元球モデルとし、線源領域の物質は空気とする。また、遮蔽設計における主な遮蔽体であるコンクリート通過後の線量率については、「遮蔽02：MOX燃料加工施設の遮蔽計算における線量率計算箇所の選定について」の添付-5に示すとおり、中性子線の寄与が支配的であることから、線源は中性子線のみとし、強度を $1 \times 10^7 [\text{n/s}]$ とする。中性子線のスペクトルについては、添付書類「II-1 遮蔽設計に関する基本方針」の第4.1-2表のとおりとする。

計算コードは1次元輸送計算コードANISN⁽¹⁾を使用し、1センチメートル線量当量率への換算には、日本原子力学会標準⁽²⁾の換算係数を用いる。

計算の結果は下表に示すとおりであり、表面から 1m の値の方が厳しいことから、当該数値が基準である $100\mu\text{Sv/h}$ となる値を線源強度とする。 $100/28.6=3.50$ であるため、燃料集合体用輸送容器表面から 1m 位置の線量当量率が $100\mu\text{Sv/h}$ となる線源強度は $3.50 \times 10^7 [\text{n/s}]$ となるが、安全裕度を考慮し、 $4.0 \times 10^7 [\text{n/s}]$ を遮蔽設計に用いる線源条件とする。

中心からの距離 (m)	中性子 ^(*1) ($\mu\text{Sv/h}$)	2次 γ ^(*1) ($\mu\text{Sv/h}$)	合計 ^(*1) ($\mu\text{Sv/h}$)	基準 ^(*2) ($\mu\text{Sv/h}$)	割合 (合計/基準)
$1.05^{(*3)}$	153	6.13×10^{-4}	153	2000	8%
$2.05^{(*4)}$	28.6	2.60×10^{-4}	28.6	100	29%

*1：1センチメートル線量当量率を示す。

*2：「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年総理府令第57号）」に定められる線量当量率の基準値を示す。

*3：輸送容器表面の位置を示す。

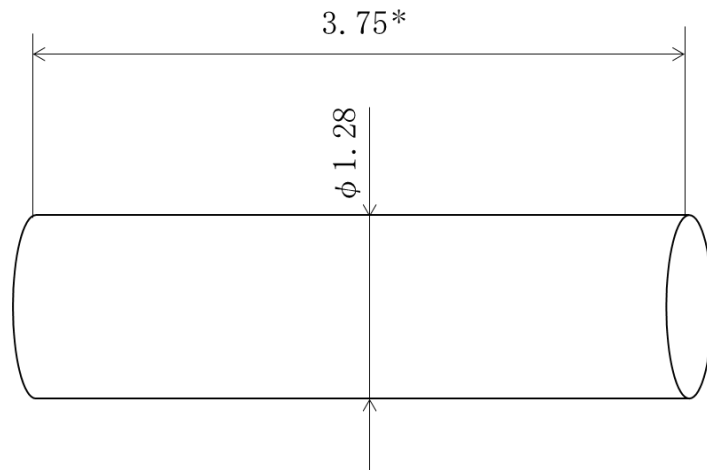
*4：輸送容器表面から 1m の位置を示す。

2.1 参考文献

(1) Ward W. Engle, Jr.. A Users Manual for ANISN A One Dimensional

Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering, Oak Ridge National Laboratory, 1967, K-1693.

- (2) 社団法人日本原子力学会．日本原子力学会標準 放射線遮へい計算のための線量換算係数：2004，2004年12月，AESJ-SC-R002：2004.



(単位：m)

第 2-1 図 燃料集合体輸送容器概要図

*：燃料棒の有効長を考慮した値

3. 燃料集合体貯蔵設備の線源設定について

MOX 燃料加工施設からの直接線及びスカイシャイン線による一般公衆の線量評価において線源としている燃料集合体貯蔵設備には、BWR 燃料集合体(8×8 型)、BWR 燃料集合体(9×9 型の A 型及び B 型)並びに PWR 燃料集合体(17×17 型)の 3 種類を貯蔵する。

事業(変更)許可申請書に記載している燃料の諸元を用いて、線量への寄与が大きい Pu 量を算出した結果、燃料集合体 1 体当たりでは PWR 燃料集合体の方が大きい。燃料集合体貯蔵チャンネル当たりの Pu 量は、BWR 燃料集合体(8×8 型)、BWR 燃料集合体(9×9 型の A 型及び B 型)のいずれにおいても PWR 燃料集合体よりも大きくなることから、一般公衆の線量評価においては、燃料集合体貯蔵室の最大貯蔵能力(170t・HM)及び BWR 燃料集合体の Pu 富化度(11%)を用いて線源強度を設定する。

第 3.-1 表 燃料集合体の型ごとの重量比較

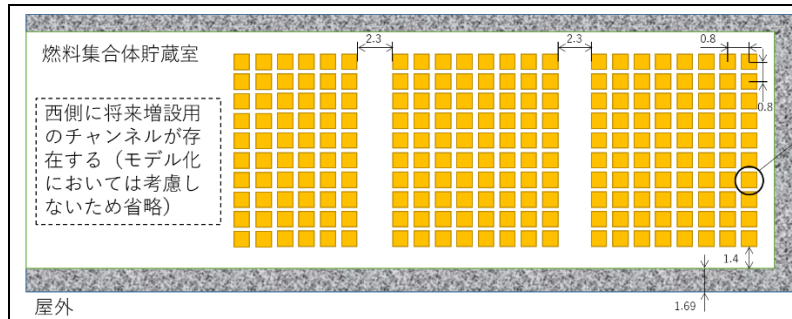
		BWR 8×8 型	BWR9×9 型		PWR 17×17 型
			A 型	B 型	
諸元	ペレット直径(mm)	10.4	9.6	9.4	8.2
	スタック長(mm)	3710	3710	3710	3700
	燃料棒本数*	60	74	72	264
	Pu 富化度(%)	11	11	11	14
	スタック体積(mm ³)	315160	268538	257466	195398
	理論密度(g/cm ³)	11.1	11.1	11.1	11.1
燃料棒	MOX 重量(kgMOX)	3.50	2.99	2.86	2.17
	HM 重量(kgHM)	3.09	2.63	2.52	1.91
	Pu 重量(kgPu)	0.339	0.289	0.277	0.268
燃料集合体	HM 重量(kgHM)	185	195	181	505
	Pu 重量(kgPu)	20	21	20	71
燃料集合体 貯蔵チャンネル当たり	集合体数(体)	4	4	4	1
	HM 重量(kgHM)	741	778	726	505
	Pu 重量(kgPu)	81	86	80	71

*：燃料の諸元では、BWR 燃料集合体中のウラン燃料棒の本数を規定していないことから、燃料棒全てが MOX 燃料棒であるとする。

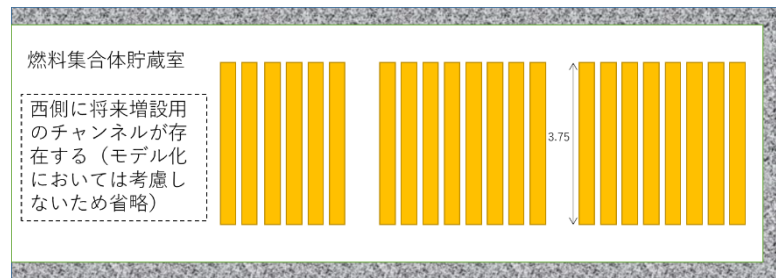
4. 燃料加工建屋の計算モデルの設定について

遮蔽設計で用いる計算モデルは、線源を有する機器の形状及び配置を踏まえ、距離を短く設定すること、線源の密度を低く設定すること等により、保守的な遮蔽設計となるように設定する。このように設定している遮蔽設計に用いる計算モデル並びに線源を有する機器の構造及び配置の概要について、第 4.-1 図から第 4.-14 図に示す。

なお、本図では、遮蔽設計で用いる計算モデルが、線源を有する機器の構造及び配置を踏まえて保守的な設計となるようモデル化されていることを示すためのものであり、遮蔽設計では考慮していない部分については省略されている場合がある。



平面図

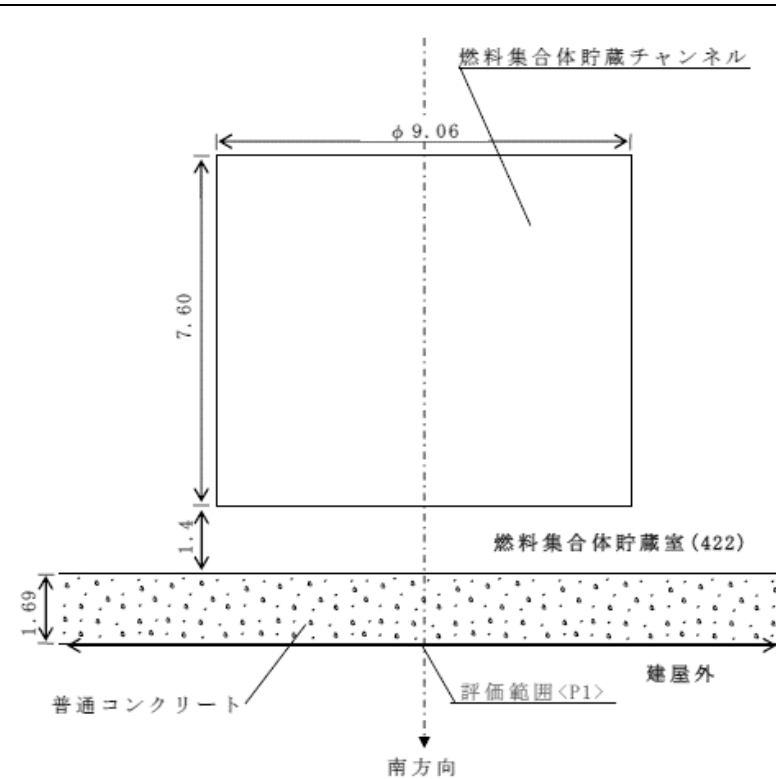


立面図

■は燃料集合体貯蔵チャンネルを表している。燃料集合体貯蔵チャンネルが存在する空間の体積及び建屋外側の面積を保存した円筒にモデル化している。

2 箇所ある燃料集合体貯蔵チャンネルの間隔が 2.3m の箇所については、線源が密集して安全側の評価となるように、燃料集合体貯蔵チャンネルの間隔を 0.8m として取り扱う。

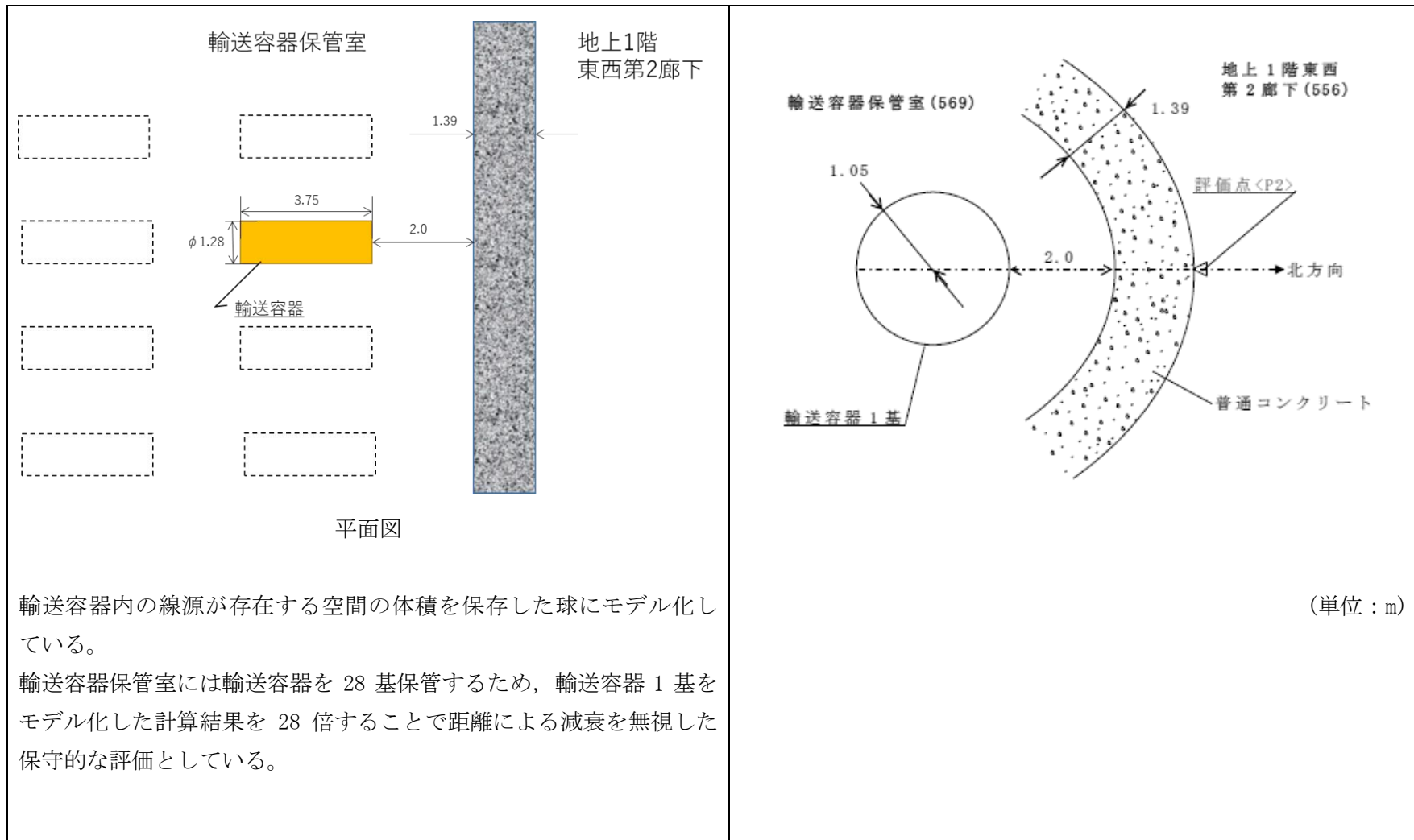
概要図



(単位：m)

計算モデル(2次元有限円筒モデル)

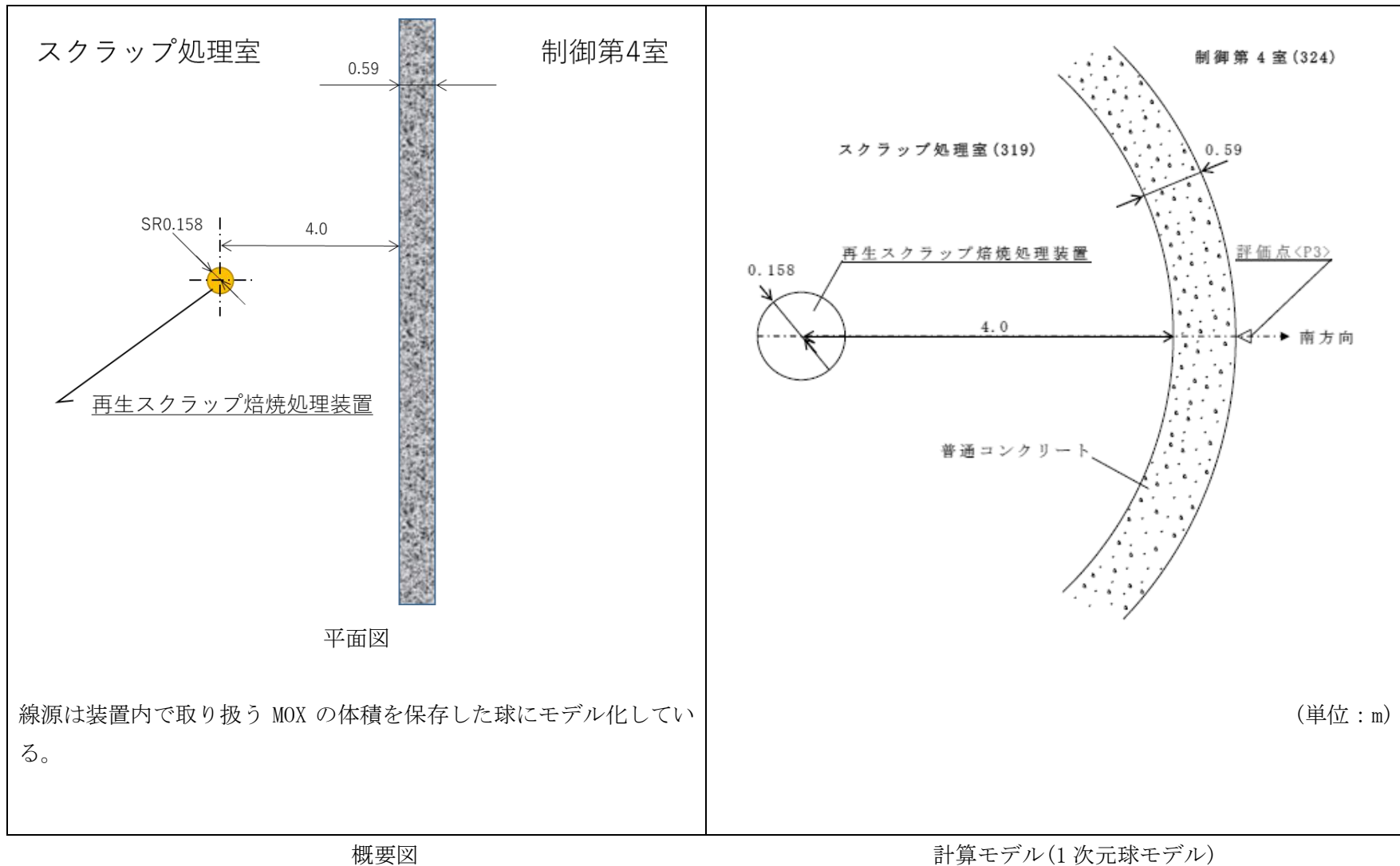
第 4.-1 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(燃料集合体貯蔵チャンネル)



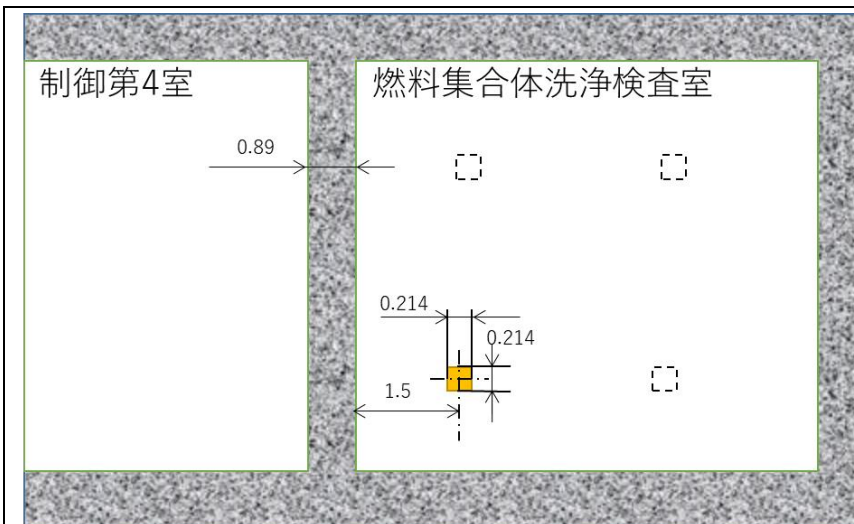
概要図

計算モデル(1次元球モデル)

第4-2図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(燃料集合体用輸送容器)



第 4.-3 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(再生スクラップ焙焼処理装置)

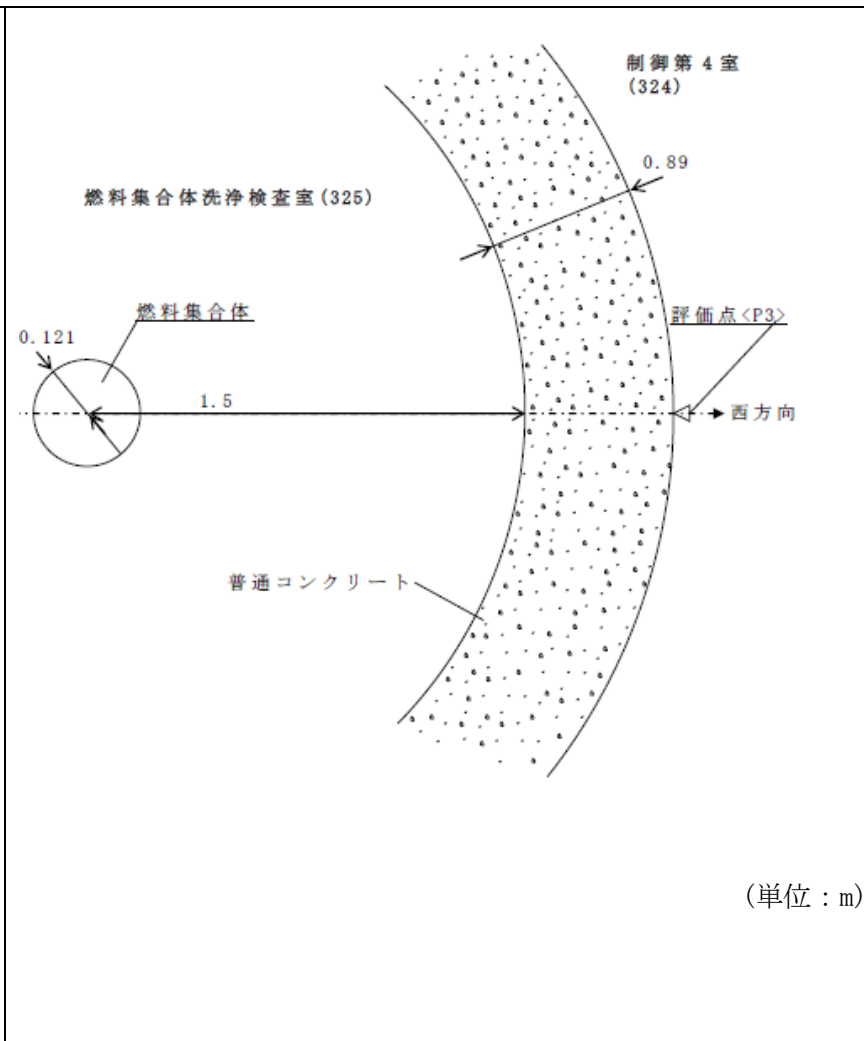


平面図

■は燃料集合体を表している。燃料集合体の断面積を保存した円筒にモデル化している。

燃料集合体洗浄検査室では燃料集合体1体を取り扱う機器を4基設置するが、同時に取り扱うのは2基までであるため、制御第4室に最も近い機器の燃料集合体1体をモデル化した計算結果を2倍することで保守的な評価としている（□は燃料集合体を取り扱うその他の機器の位置を表している）。

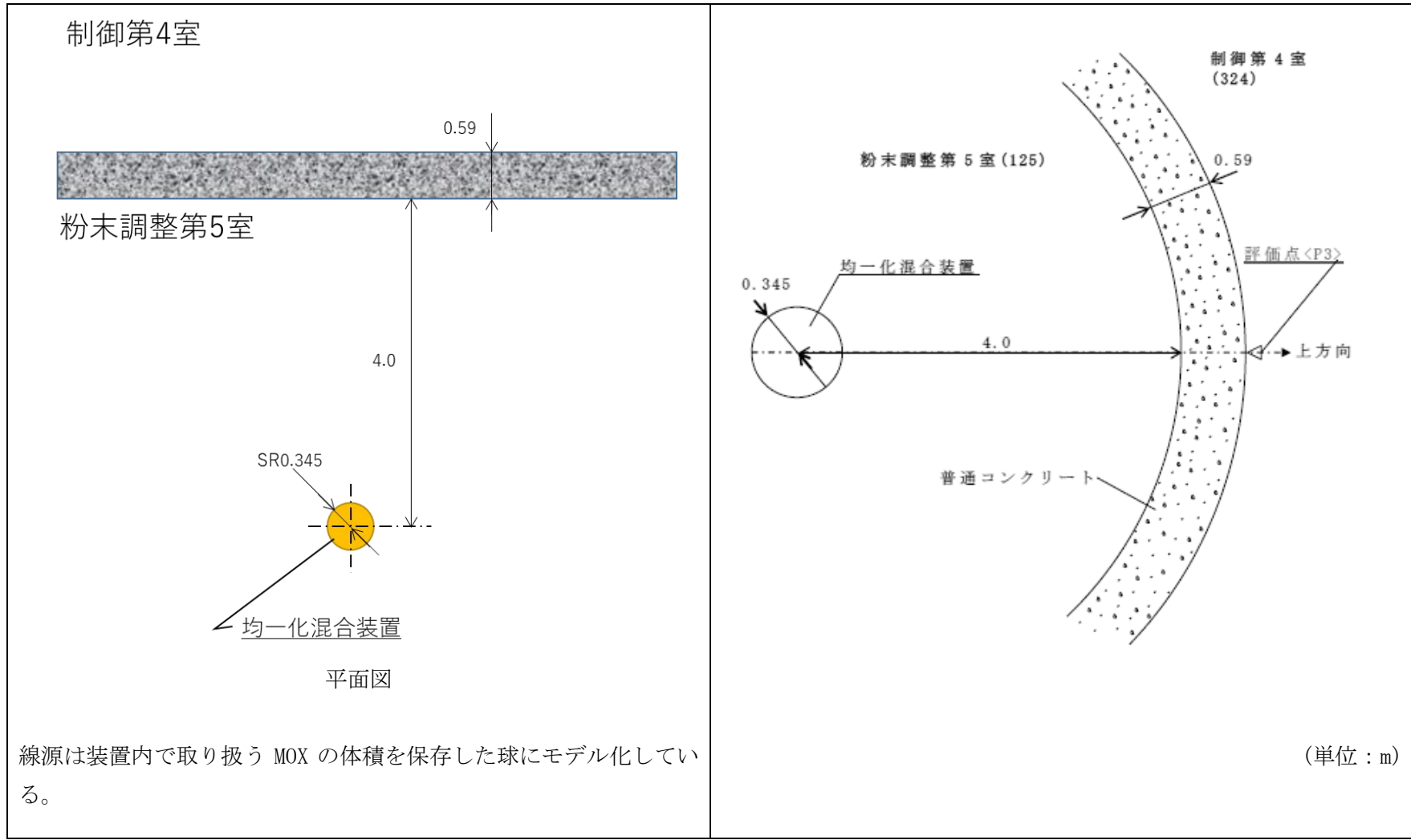
概要図



(単位：m)

計算モデル(1次元無限円筒モデル)

第4.-4図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(燃料集合体)

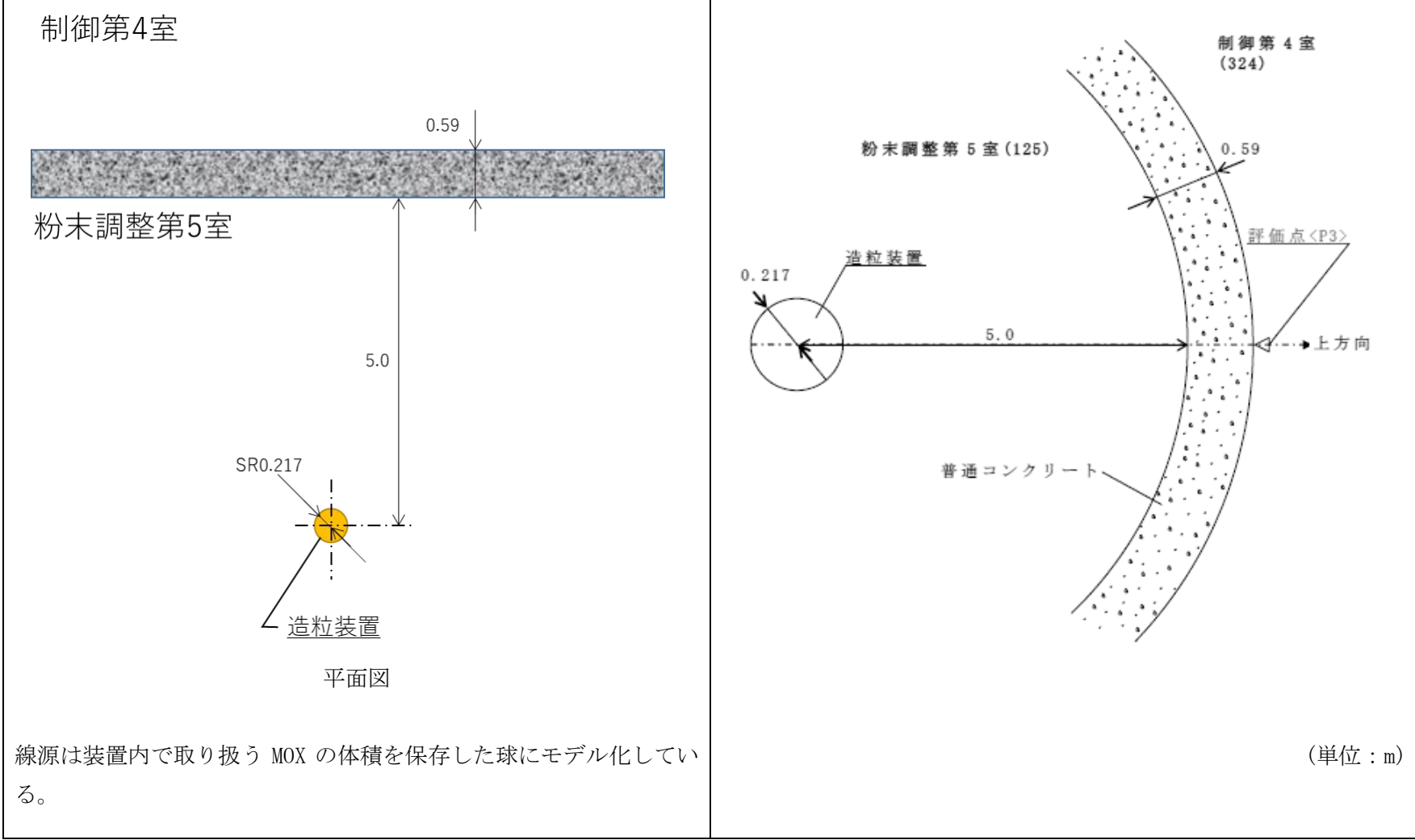


線源は装置内で取り扱う MOX の体積を保存した球にモデル化している。

概要図

計算モデル(1次元球モデル)

第 4. -5 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(均一化混合装置)



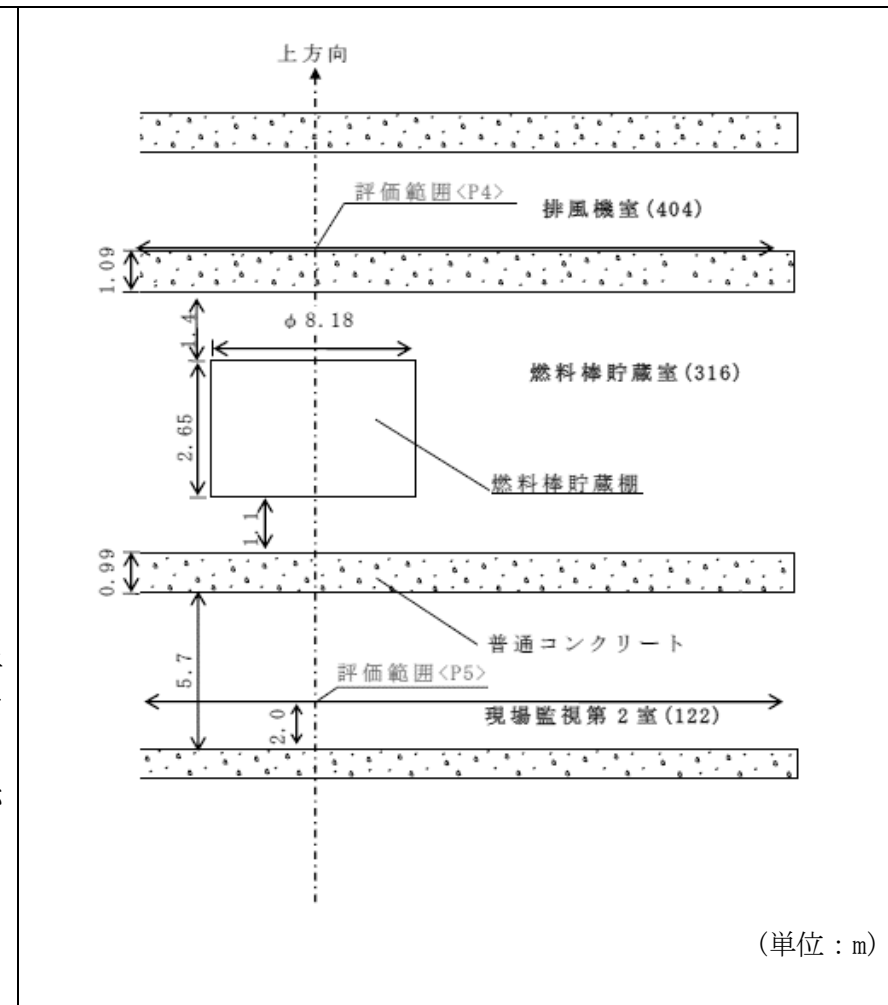
概要図

計算モデル(1次元球モデル)

第 4. -6 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(造粒装置)

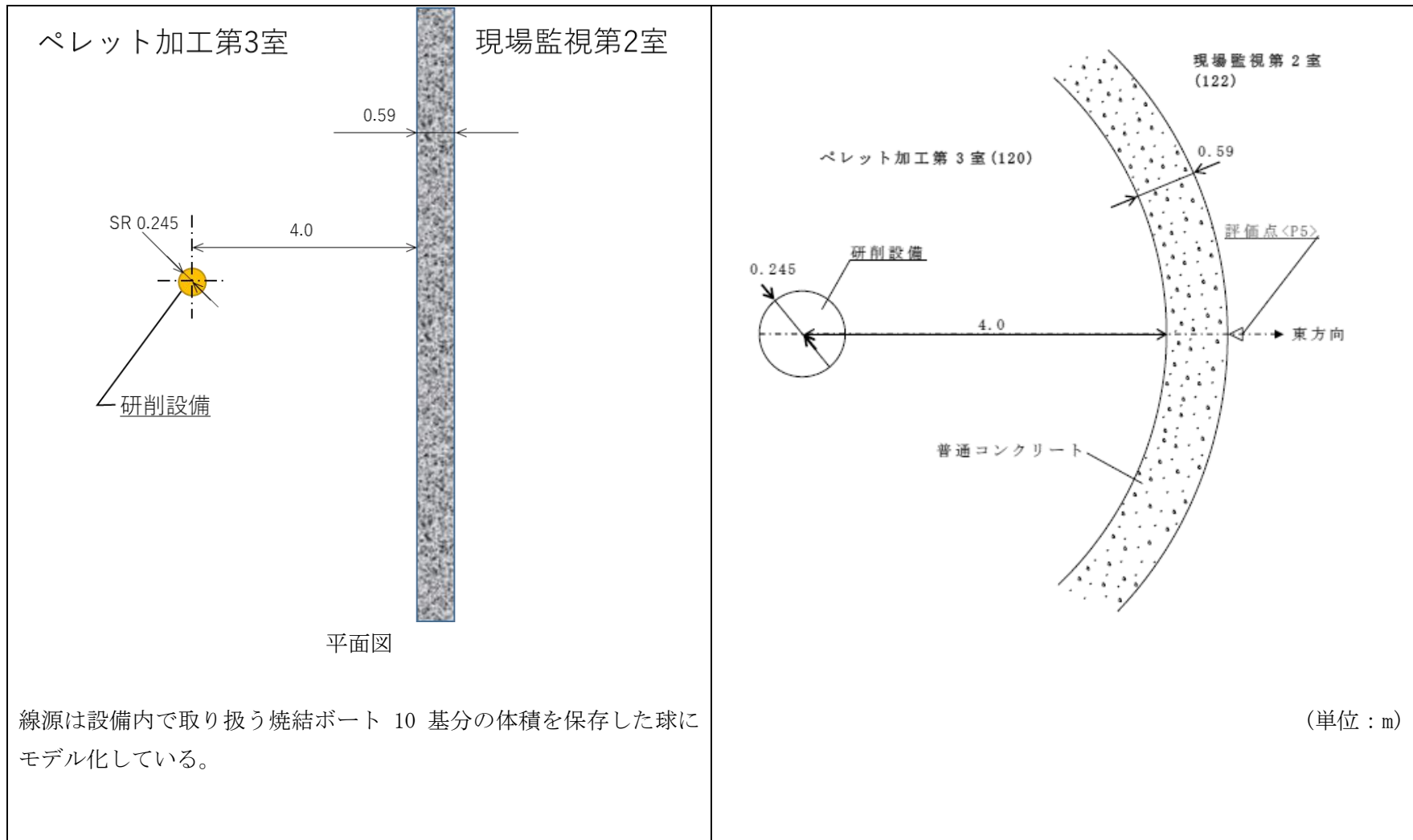


概要図



計算モデル(2次元有限円筒モデル)

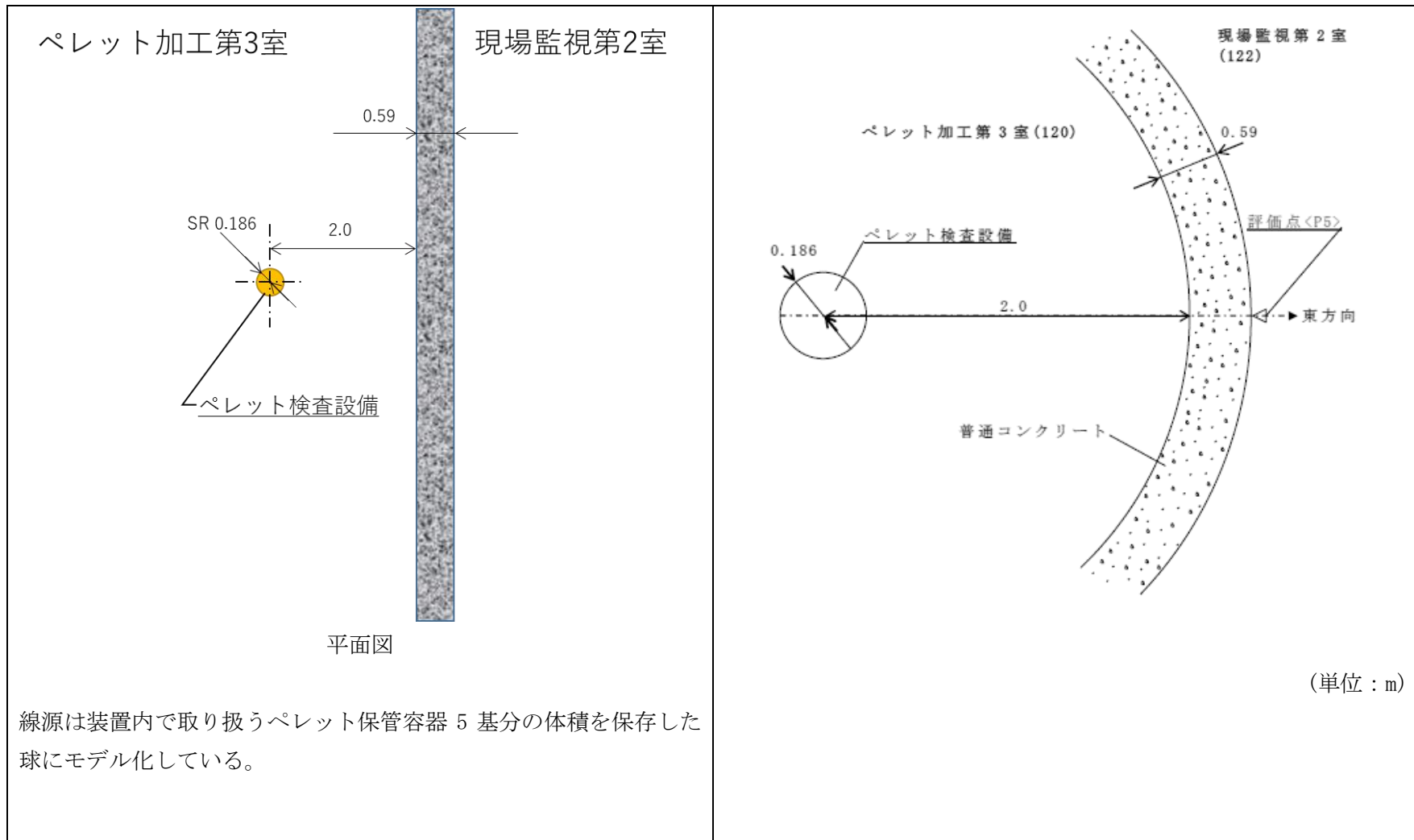
第4.-7図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(燃料棒貯蔵棚)



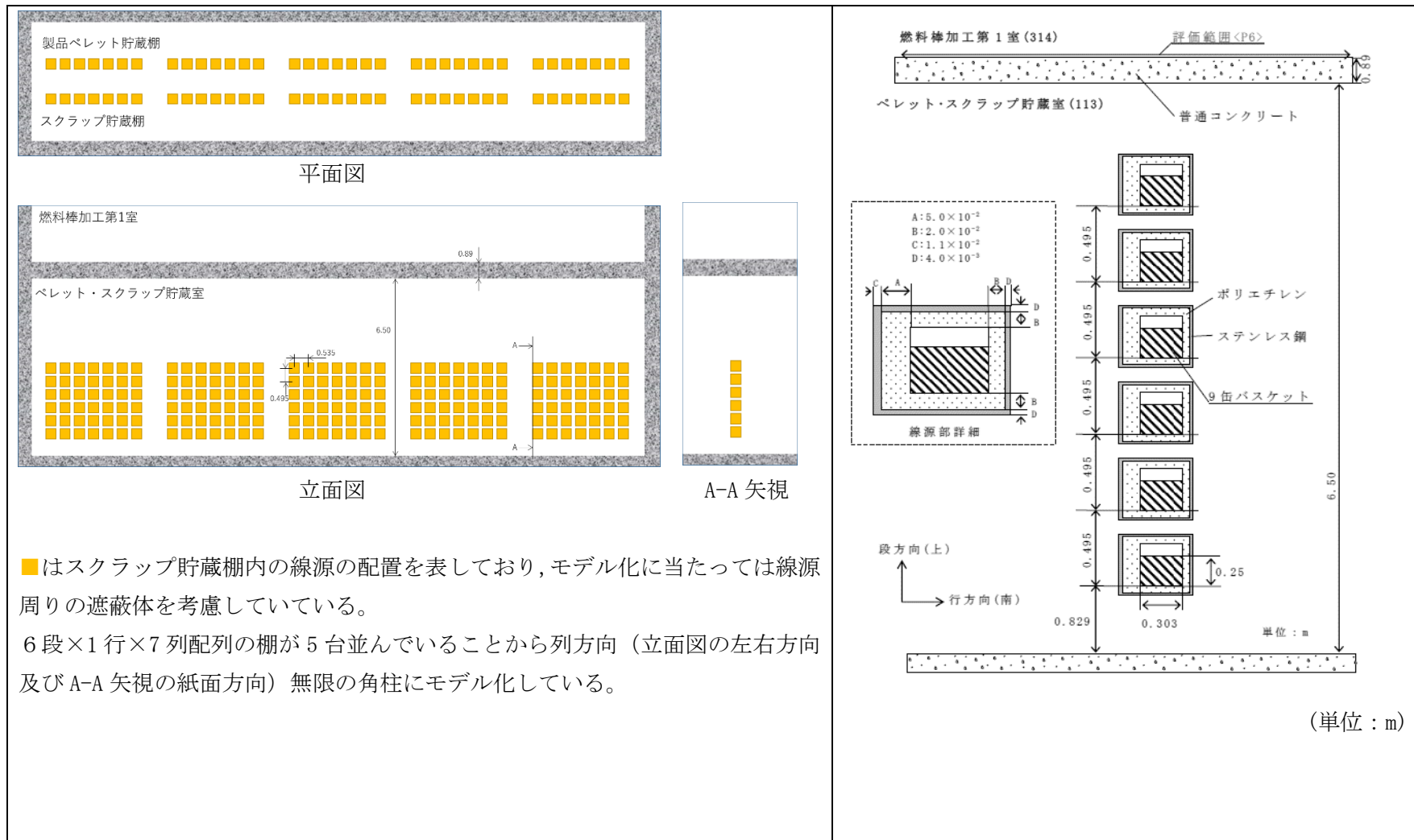
概要図

計算モデル(1次元球モデル)

第 4.-8 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(研削設備)



第 4.-9 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(ペレット検査設備)



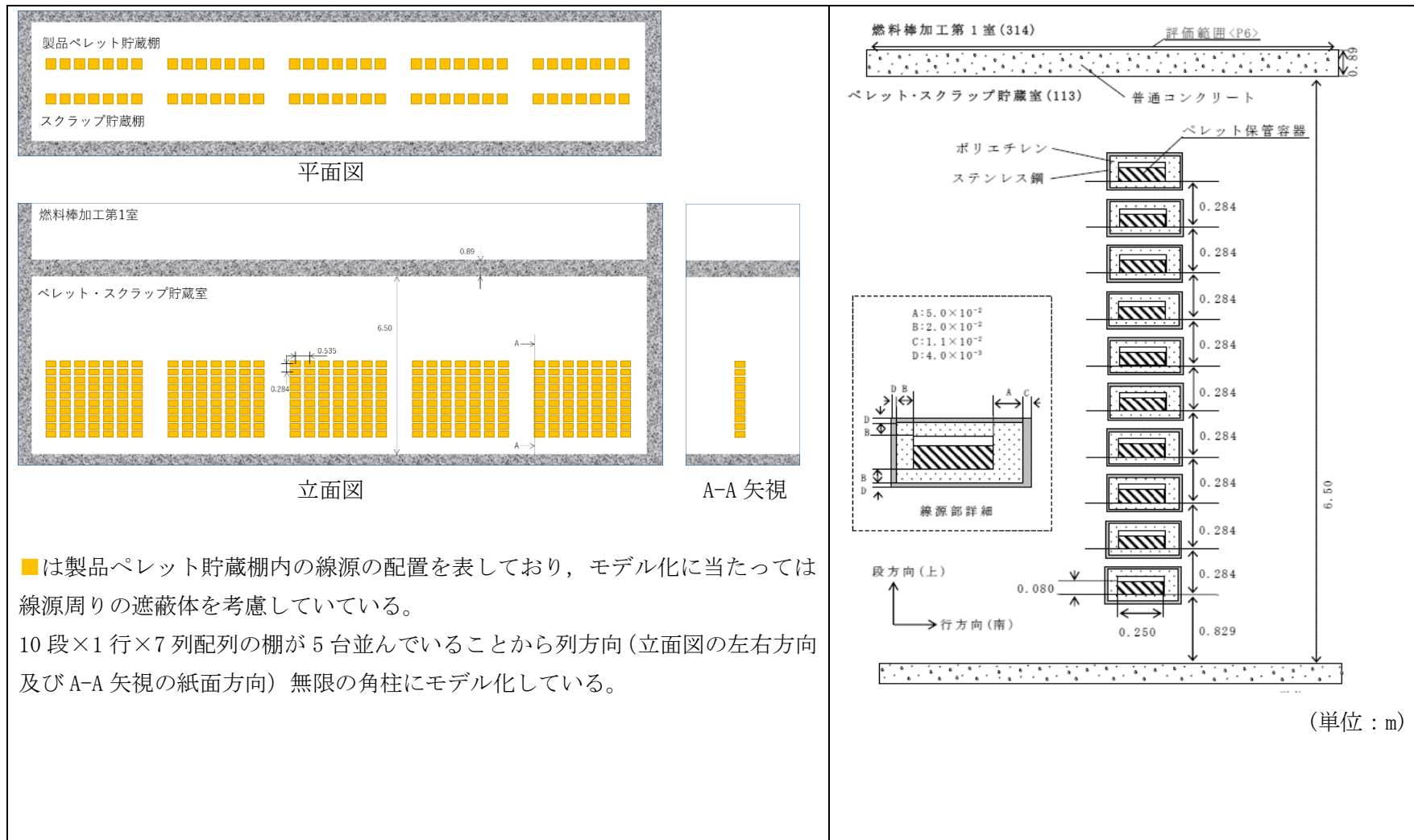
■はスクラップ貯蔵棚内の線源の配置を表しており、モデル化に当たっては線源周りの遮蔽体を考慮している。

6段×1行×7列配列の棚が5台並んでいることから列方向（立面図の左右方向及びA-A 矢視の紙面方向）無限の角柱にモデル化している。

概要図

計算モデル(2次元無限角柱モデル)

第4.-10図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(スクラップ貯蔵棚)



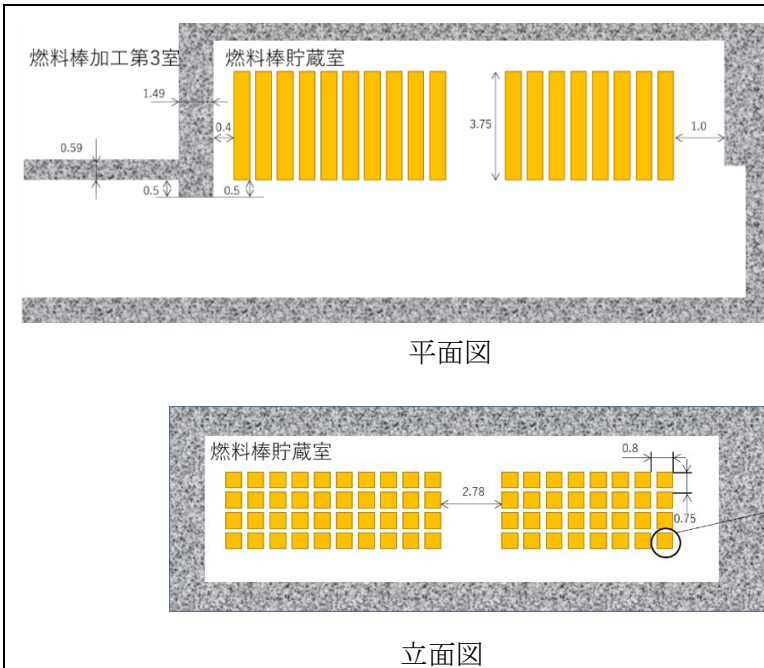
■は製品ペレット貯蔵棚内の線源の配置を表しており、モデル化に当たっては線源周りの遮蔽体を考慮している。

10段×1行×7列配列の棚が5台並んでいることから列方向(立面図の左右方向及びA-A矢視の紙面方向)無限の角柱にモデル化している。

概要図

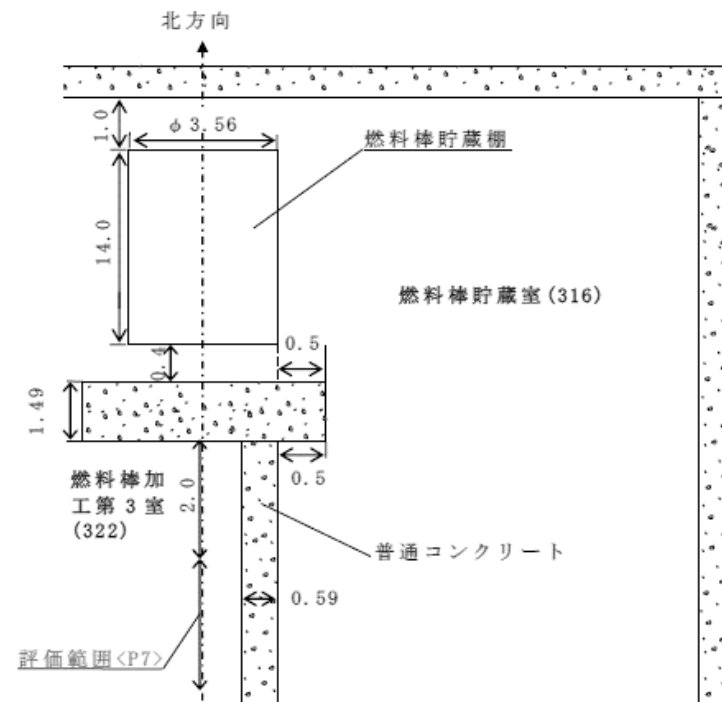
計算モデル(2次元無限角柱モデル)

第4.-11図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(製品ペレット貯蔵棚)



■は貯蔵マガジンを表している。貯蔵マガジンが存在する空間の体積と燃料棒加工第3室側の面積を保存した円筒にモデル化している。中央にある貯蔵マガジンの間隔が 2.78m の箇所については、線源が密集して安全側の評価となるように、貯蔵マガジンの間隔を 0.8m として取り扱う。

概要図

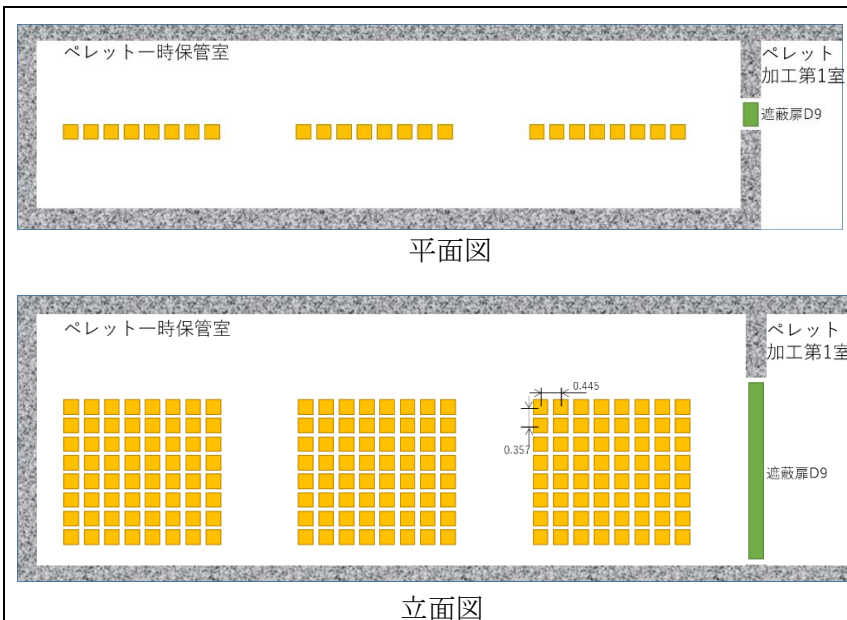


(単位：m)

作業位置は機器の配置を考慮し、北壁から 2m 離れた軸上とする。通常は線源に近い北側の線量が高くなるが、本モデルでは周方向からの放射線の寄与もあるため、線源から離れた位置で最大値を取る可能性を考慮し、北壁から 2m より遠い範囲も評価範囲とした。

計算モデル(2次元有限円筒モデル)

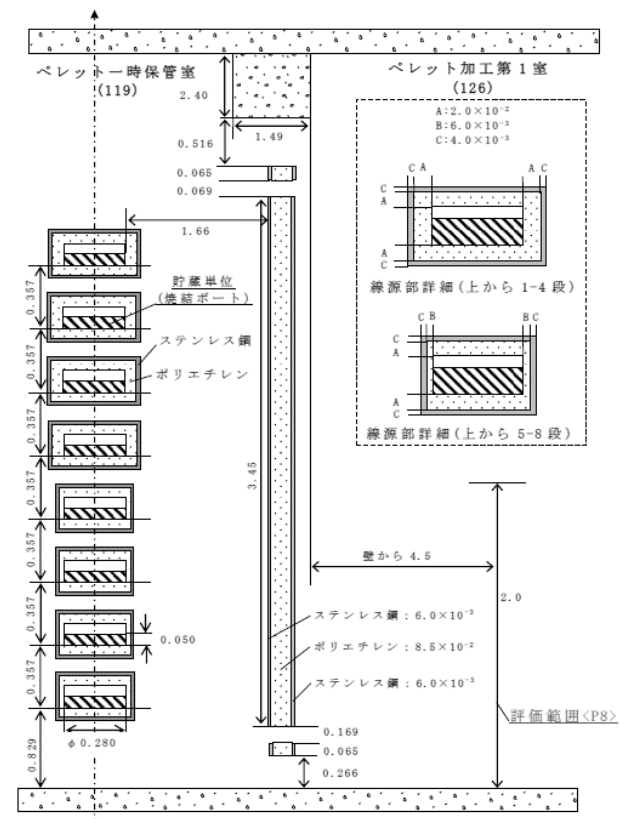
第 4.-12 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(燃料棒貯蔵棚)



■はペレット一時保管棚内の線源の配置を表しており、モデル化に当たっては線源周りの遮蔽体を考慮している。8段×8行×1列配列の貯蔵棚を1行ずつ上下方向を軸とした円筒にモデル化している。(計算モデルはペレット加工第1室に一番近い行をモデル化したものである)

なお、保管する容器によって遮蔽体の仕様が異なるため、遮蔽体が薄いものは評価上厳しくなるようペレット加工第1室側に配置してモデル化している。

概要図

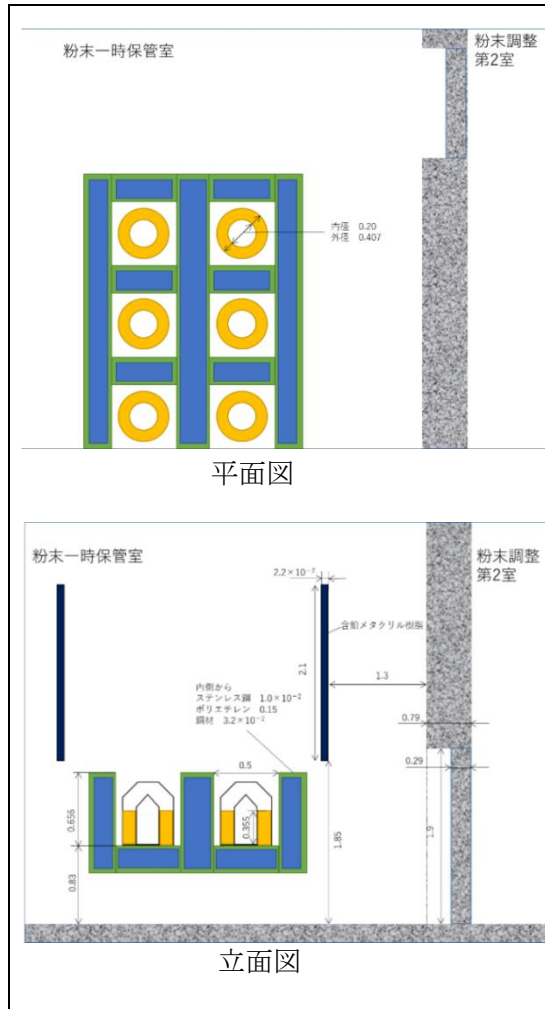


(単位：m)

作業位置は機器の配置を考慮し、壁から4.5mの位置とする。また、人の身長を考慮し、作業位置の床から2mの範囲を評価範囲とする。

計算モデル(2次元有限円筒モデル)

第4-13図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(ペレット一時保管棚)



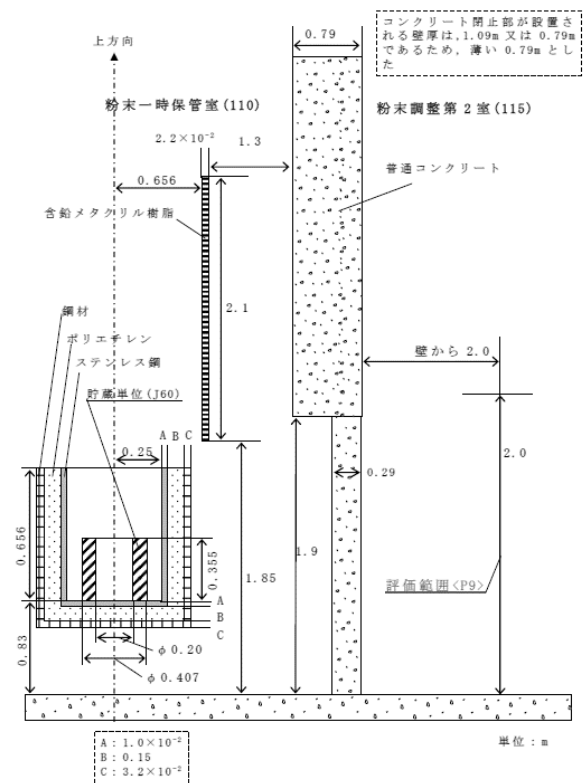
概要図

第 4.-14 図 遮蔽設計で用いる計算モデルと線源を有する機器の概要図(粉末一時保管装置)

貯蔵する主な容器である J60 (Pu 富化度 33%, 65 kg MOX) 及び J85 (Pu 富化度 18%, 90 kg MOX) のうち, Pu 量が多くなる J60 の形状を考慮した円環形状にモデル化している。

コンクリートが薄い部分は将来増設用の箇所であり, 正面には搬送設備があるため, 容器は存在しないが, モデル上は正面に容器があるような条件としている。

また, 線源としてはコンクリートが薄い部分から見通せる範囲の容器数として 12 基 (平面図における 6 基と対称形の反対側にある 6 基) を考慮する。



(単位: m)

作業位置は機器の配置を考慮し, 壁から 2.0m の位置とする。また, 人の身長を考慮し, 作業位置の床から 2m の範囲を評価範囲とする。

計算モデル(2次元有限円筒モデル)