

高浜発電所1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉

蒸気発生器保管庫の保管対象物変更、  
外部遮蔽壁保管庫の共用化及び保管対象物変更  
の安全設計について

2021年11月

関西電力株式会社

# 目次

1. はじめに .....	1
2. 設置許可基準規則への適合性について .....	2

(参考資料)

1. 解析コードの概要
2. 減容したバーナブルポイズンの線源核種の考え方

## 1. はじめに

蒸気発生器保管庫の保管対象物変更、外部遮蔽壁保管庫の共用化及び保管対象物変更の安全設計について「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 日制定）（以下、「設置許可基準規則」という。）に適合するように設計する。

蒸気発生器保管庫の保管対象物変更、外部遮蔽壁保管庫の共用化及び保管対象物変更に関連する設置許可基準規則としては、以下の条文が該当する。

- ・ 第八条 火災による損傷の防止
- ・ 第十二条 安全施設
- ・ 第二十七条 放射性廃棄物の処理施設
- ・ 第二十八条 放射性廃棄物の貯蔵施設
- ・ 第二十九条 工場等周辺における直接線等からの防護
- ・ 第三十条 放射線からの放射線業務従事者の防護

これらの条文に対する適合性は次項のとおり。

## 2. 設置許可基準規則への適合性について

### (1) 第八条 火災による損傷の防止

設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。

#### 適合のための設計方針

##### 第1項について

設計基準対象施設は、火災により原子炉施設の安全性を損なうことのないよう、火災発生防止、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置を講じるものとする。

##### (1) 火災発生防止

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するものである場合若しくは他の安全機能を有する構築物、系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合を除き、不燃性材料又は難燃性材料を使用した設計とする。

##### (2) 火災の感知及び消火

安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行えるように異なる種類の感知器を設置する設計とする。

消火設備は、消火器及び消火栓を設置するとともに、原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器が設置される火災区域又は火災区画並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器が設置される火災区域であって、火災発生時に煙の充満、放射線の影響により消火活動が困難なところには、自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置する設計とする。

今回の申請にて保管する減容したバーナブルポイズンを含め、蒸気発生器保管庫及び外部遮蔽壁保管庫の保管対象物はすべて不燃物であり、本設計方針に変更はない。

なお、蒸気発生器保管庫及び外部遮蔽壁保管庫での具体的な火災発生防止、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置は添付のとおり。

## 火災発生防止、火災感知、消火、火災影響軽減の措置一覧

措置項目	蒸気発生器保管庫	外部遮蔽壁保管庫
火災発生防止	不燃物のみを保管	不燃物のみを保管
火災感知	異なる2種類の感知器（アナログ式の煙感知器及び熱感知器）を組みあわせて設置する設計	異なる2種類の感知器（アナログ式の煙感知器及び熱感知器）を組みあわせて設置する設計
消火	火災発生時に煙の充満、放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域であるため、消火器、消火栓で消火を行う設計	火災発生時に煙の充満、放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域であるため、消火器、消火栓で消火を行う設計
火災影響軽減	3時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって他の火災区域から分離する設計	3時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって他の火災区域から分離する設計

(2) 第十二条 安全施設

7 安全施設（重要安全施設を除く。）は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第7項について

外部遮蔽壁保管庫は、1号、2号、3号及び4号炉共用とするが、共用によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

具体的には、外部遮蔽壁保管庫は、安全機能の重要度によりクラス3（PS-3）に分類されるが、1号炉及び2号炉の外周コンクリート壁一部撤去に伴い発生したコンクリート、鉄筋及び埋め込み金物に加えて、1号炉の蒸気発生器の取替えに伴い発生したコンクリート等、並びに3号炉及び4号炉の原子炉容器上部ふたの取替えに伴い発生したコンクリート等を貯蔵するのに必要な貯蔵容量を有しており、共用によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

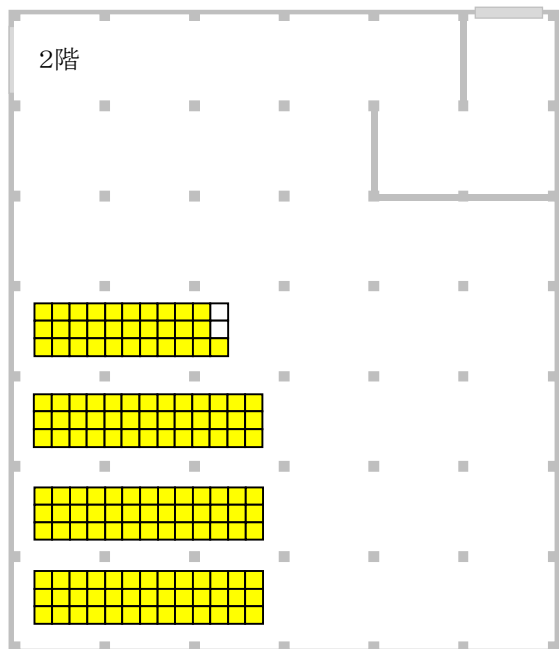
外部遮蔽壁保管庫の具体的な貯蔵容量、保管物は添付のとおり。

## 外部遮蔽壁保管庫の貯蔵容量と保管物一覧

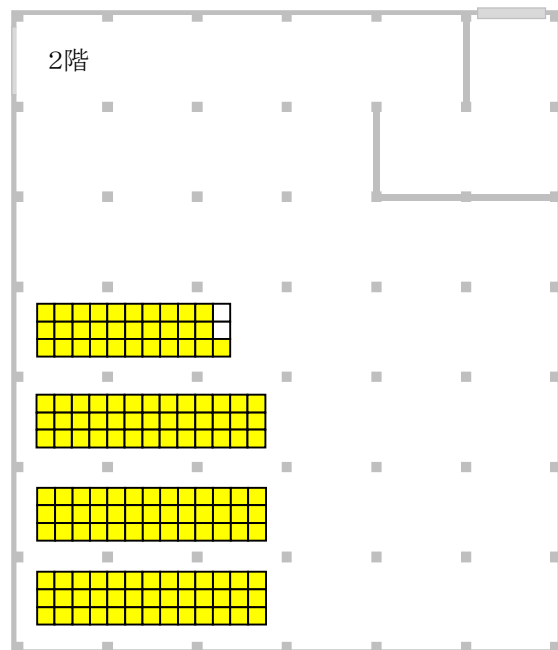
外部遮蔽壁保管庫				
貯蔵容量* <sup>1</sup>	保管物			備考
	工事件名	品目	保管量	
8,300 m <sup>3</sup> /棟	外周コンクリート壁一部撤去	コンクリート等* <sup>2</sup>	約 1,849m <sup>3</sup>	2021 年 9 月末保管分
	蒸気発生器取替	コンクリート等* <sup>2</sup>	約 11m <sup>3</sup>	今回追加分
		配管サポート	約 10m <sup>3</sup>	今回追加分
		主蒸気管、主給水管	約 60m <sup>3</sup>	今回追加分
	原子炉容器上部ふた取替	コンクリート等* <sup>2</sup>	約 109m <sup>3</sup>	今回追加分
	合 計			約 2,039m <sup>3</sup>

\* 1 : 外部遮蔽壁保管庫の貯蔵容量は、保管できる容器の最大数量から設定している。

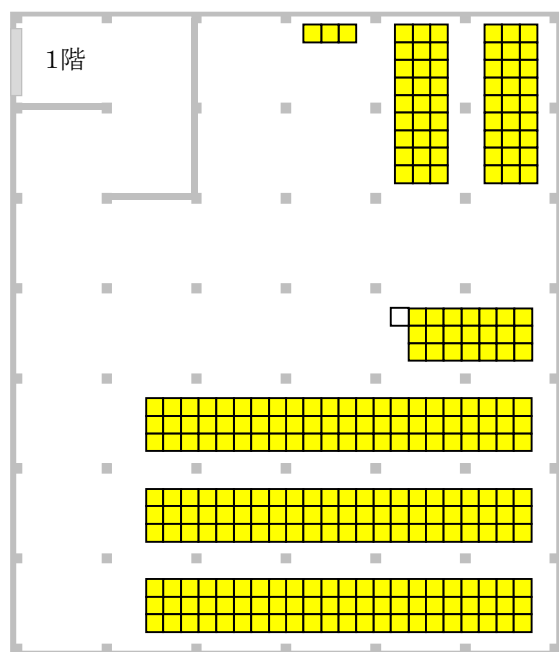
\* 2 : 「等」とは、鉄筋及び埋め込み金物を示す。



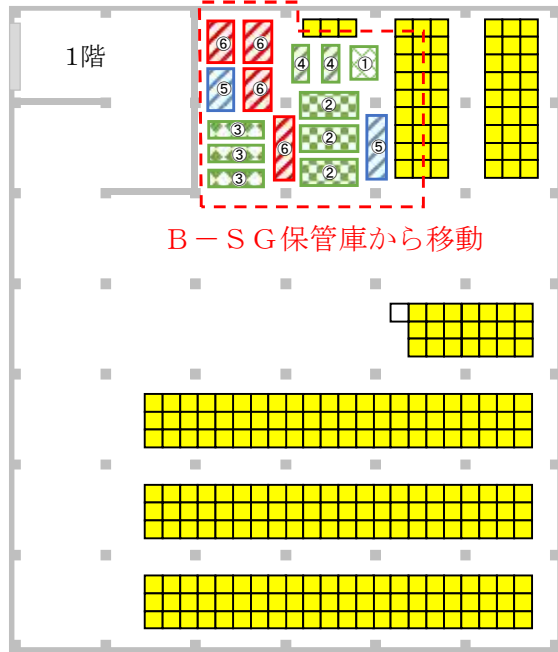
(移動前)



(移動後)



(移動前)



(移動後)

移動前				
No	工事分類	保管物	容器数	容量
—	外周コンクリート壁一部撤去	コンクリート等	8 5 1 個	1,849m <sup>3</sup>
				1,849m <sup>3</sup>

移動後				
No	工事分類	保管物	容器数	容量
—	外周コンクリート壁一部撤去	コンクリート等	8 5 1 個	1,849m <sup>3</sup>
①	1号炉 SGR	配管サポート	1 個	10m <sup>3</sup>
②		主蒸気管	3 個	42m <sup>3</sup>
③		主給水管	3 個	18m <sup>3</sup>
④	3号炉VHR	コンクリート等	2 個	11m <sup>3</sup>
⑤		コンクリート等	2 個	33m <sup>3</sup>
⑥		コンクリート等	4 個	76m <sup>3</sup>
				2,039m <sup>3</sup>

【凡例】

- : 外周コンクリート壁一部撤去到に伴い発生したコンクリート、鉄筋及び埋め込み金物(1段)
- : 外周コンクリート壁一部撤去到に伴い発生したコンクリート、鉄筋及び埋め込み金物(2段)
- : 1号炉蒸気発生器取替に伴い発生したコンクリート等
- : 3号炉原子炉容器上ふた取替に伴い発生したコンクリート等
- : 4号炉原子炉容器上ふた取替に伴い発生したコンクリート等

外部遮蔽壁保管庫内の保管物の配置



### (3) 第二十七条 放射性廃棄物の処理施設

工場等には、次に掲げるところにより、通常運転時において放射性廃棄物（実用炉規則第二条第二項第二号に規定する放射性廃棄物をいう。以下同じ。）を処理する施設（安全施設に係るものに限る。以下この条において同じ。）を設けなければならない。

- 三 固体状の放射性廃棄物の処理に係るものにあつては、放射性廃棄物を処理する過程において放射性物質が散逸し難いものとする事。

#### 適合のための設計方針

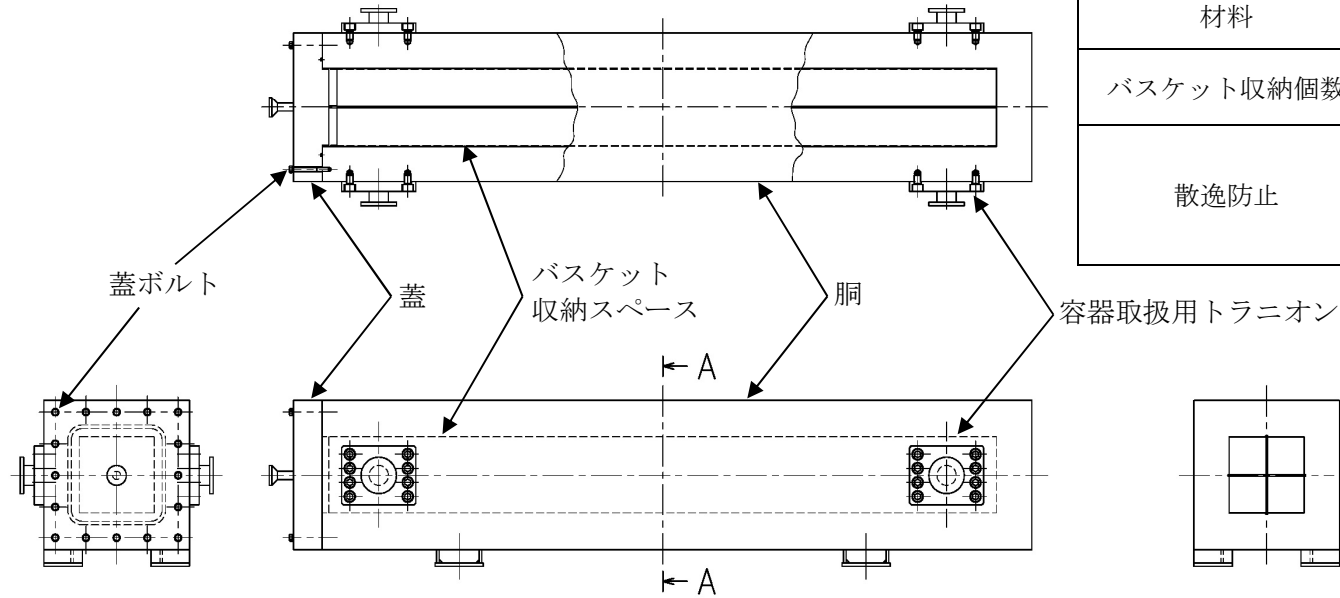
##### 第1項第3号について

固体廃棄物処理施設は、放射性物質が散逸し難い設計とする。

具体的には、蒸気発生器保管庫への減容したバーナブルポイズンの運搬時は、容器に封入して運搬することにより、放射性物質の散逸防止を考慮した設計とする。

減容したバーナブルポイズンを封入する容器の概略図を添付に示す。

8



主要寸法	全長	約 4.6m
	幅	約 0.9m
	高さ	約 0.9m
	胴板厚さ	約 0.2m
材料		SS400
バスケット収納個数		4 個
散逸防止		取扱い、運搬及び保管時に、き裂、破損が生じない構造、材質の容器に収納

断面AA

減容したバーナブルポイズンの運搬用容器概略図

#### (4) 第二十八条 放射性廃棄物の貯蔵施設

工場等には、次に掲げるところにより、発電用原子炉施設において発生する放射性廃棄物を貯蔵する施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。

- 一 放射性廃棄物が漏えいし難いものとする事。
- 二 固体状の放射性廃棄物を貯蔵する設備を設けるものにあつては、放射性廃棄物による汚染が広がらないものとする事。

#### 適合のための設計方針

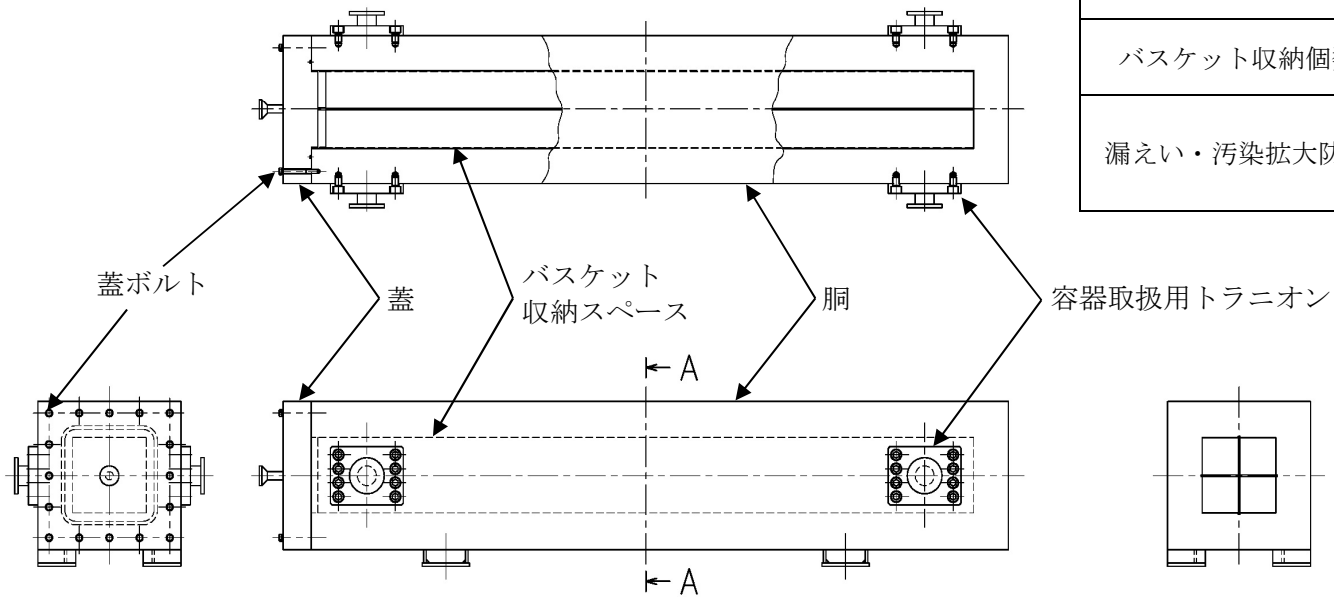
##### 第1項第1号及び第2号について

放射性廃棄物を貯蔵する施設は、放射性廃棄物が漏えいし難い設計とするとともに、固体状の放射性物質を貯蔵する設備を設けるものにあつては、放射性廃棄物による汚染が広がらない設計とする。具体的には以下のとおりとする。

蒸気発生器保管庫は、容器等に封入した蒸気発生器、原子炉容器上部ふた及び減容したバーナブルポイズン等を貯蔵することにより放射性物質による汚染の拡大防止を考慮した設計とする。

外部遮蔽壁保管庫は、容器に封入した外周コンクリート壁一部撤去に伴い発生したコンクリート、鉄筋及び埋め込み金物、蒸気発生器の取替えに伴い発生したコンクリート等、並びに原子炉容器上部ふたの取替えに伴い発生したコンクリート等を貯蔵することにより、放射性物質による汚染の拡大防止を考慮した設計とする。

蒸気発生器保管庫で保管する減容したバーナブルポイズンを収納する容器の概略図を添付に示す。



主要寸法	全長	約 4.6m
	幅	約 0.9m
	高さ	約 0.9m
	胴板厚さ	約 0.2m
材料		SS400
バスケット収納個数		4 個
漏えい・汚染拡大防止		運搬及び保管時は、ふた部をボルトにより締結。

断面AA

減容したバーナブルポイズンの運搬用容器概略図

(5) 第二十九条 工場等周辺における直接線等からの防護

設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

適合のための設計方針

通常運転時において原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の空間線量率が、十分に低減（空気カーマで1年間当たり50マイクログレイ以下となるように）できる設計とする。

蒸気発生器保管庫及び外部遮蔽壁保管庫の保管対象物の変更に伴う敷地周辺の空間線量率は、添付のとおり、1年間当たり50マイクログレイ以下になる見込みであり、本設計方針に変更はない。

高浜発電所 1 号、2 号、3 号及び 4 号炉  
平常運転時における直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量評価について

1. はじめに

使用済燃料ピットに貯蔵している減容したバーナブルポイズン（以下、「減容 B P」という。）を専用の容器に収納して、既設の B 蒸気発生器保管庫（以下、「B-S G 保管庫」という。）に運搬し保管する計画である。

また、B-S G 保管庫での減容 B P の保管スペースを確保するため、B-S G 保管庫内の一部の固体廃棄物を外部遮蔽壁保管庫に移動する計画である。

ここでは、既設の A 蒸気発生器保管庫（以下、「A-S G 保管庫」という。）及び B-S G 保管庫に保管されている既保管物は時間による減衰を考慮することとし、外部遮蔽壁保管庫へ移動する保管物のコンクリート片等は表面線量が低く（0.001mSv/h 以下）、既認可での外部遮蔽壁保管庫の遮蔽性能評価における評価条件（保管容器の表面が 0.001mSv/h になる時の線源強度で建屋容量満杯状況で評価）を満足していることから変更はないこととし、B-S G 保管庫における減容 B P からの直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量を評価して、既保管物及び既設建屋を含めた高浜発電所の敷地境界外における線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」（平成元年 3 月 27 日原子力安全委員会了承一部改訂平成 13 年 3 月 29 日原子力安全委員会）に示される年間 50 $\mu$ Gy 以下であることを確認する。

2. 評価条件

(1) 減容 B P 運搬用容器

a. B-S G 保管庫の遮蔽厚

保管庫の壁及び天井の材料は鉄筋コンクリートであるが、鉄筋の遮蔽能力はコンクリートよりも大きいため、評価においては全てコンクリートとして扱う。また、コンクリート厚さを以下に示すが、評価においてはマイナス側の許容差  を考慮する。

	B-S G 保管庫
壁厚 (mm)	<input style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
天井厚 (mm)	<input style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

b. 線源条件

線源として、1号炉及び2号炉の減容B P運搬用容器（14基）を対象とし、表面線量率が2mSv/hとなる線源強度を設定する。

減容B Pの線源核種としては、B Pの放射化により種々の核種が生成されるが、比較的半減期が長く、ガンマ線エネルギーが高いCo-60を想定する。

c. 線源強度

減容B P運搬用容器のガンマ線の線源強度は、容器表面で2mSv/hに相当する強度を「QAD-CGGP2Rコード」により算出した。線源強度は、第1表のとおり。

第1表 減容B P運搬用容器の線源強度

線源	基数	線源強度
減容B P運搬用容器	14基	1.9E+03 MeV/(cm <sup>3</sup> ・s) (代表エネルギー 1.3MeV) (容器表面で2mSv/hに相当する強度 (単位体積当たり))

d. 評価モデル

第1図に「減容B P運搬用容器からの直接ガンマ線量計算形状図」及び第2図に「スカイシャインガンマ線量計算形状図」を示す。

e. 評価地点

第3図に「線量評価地点」を示す。

(2) 既保管物

A-SG保管庫及びB-SG保管庫には、蒸気発生器取替工事や原子炉容器上ふた取替工事に取り替えられた機器を収納した保管容器が貯蔵保管されており、これらの既保管物については、保管してから長期間が経過していることから、既工事計画認可申請書の敷地境界線量を、設定表面線量率と保管時の実測値の線量率比、減容B P運搬用容器の運搬時期（2024年4月以降）を考慮した時間減衰率（2023年3月末まで）により減衰補正を行う。

**【補正方法】**

減衰補正後の敷地境界線量

$$= \boxed{\text{既工事計画認可申請書の敷地境界線量}} \times \boxed{\frac{\text{保管時の最大実測値}}{\text{設定表面線量率}}} \times \boxed{\text{測定日から減容B P搬出時期までの時間減衰率}}$$

なお、時間減衰を考慮するにあたっては、保守的な結果となるよう比較的半減期が長いCo-60の半減期により減衰補正を行う。

### 3. 計算結果

上記条件を用いて評価を行った結果を下記に示す。

なお、減容B P 運搬用容器からの直接ガンマ線量は「QAD-CGGP2R コード」、スカイシャインガンマ線量は「SCATTERING コード」により計算を行った。

#### (1) B-S G保管庫

計算結果を第2表に示す。

第2表 減容B P 運搬用容器からの  
直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量計算結果

線源	線量(μGy/年)	
減容B P 運搬用容器	直接ガンマ線量	$1.7 \times 10^{-1}$
	スカイシャインガンマ線量	$2.5 \times 10^{-2}$

また、既設保管物を含めたB-S G保管庫からの合計線量は第3表のとおりである。

第3表 B-S G保管庫からの合計線量

線源	年間線量(μGy/年)
減容B P 運搬用容器	$2.0 \times 10^{-1}$
既保管物	$1.5 \times 10^{-2}$
合 計	$2.1 \times 10^{-1}$

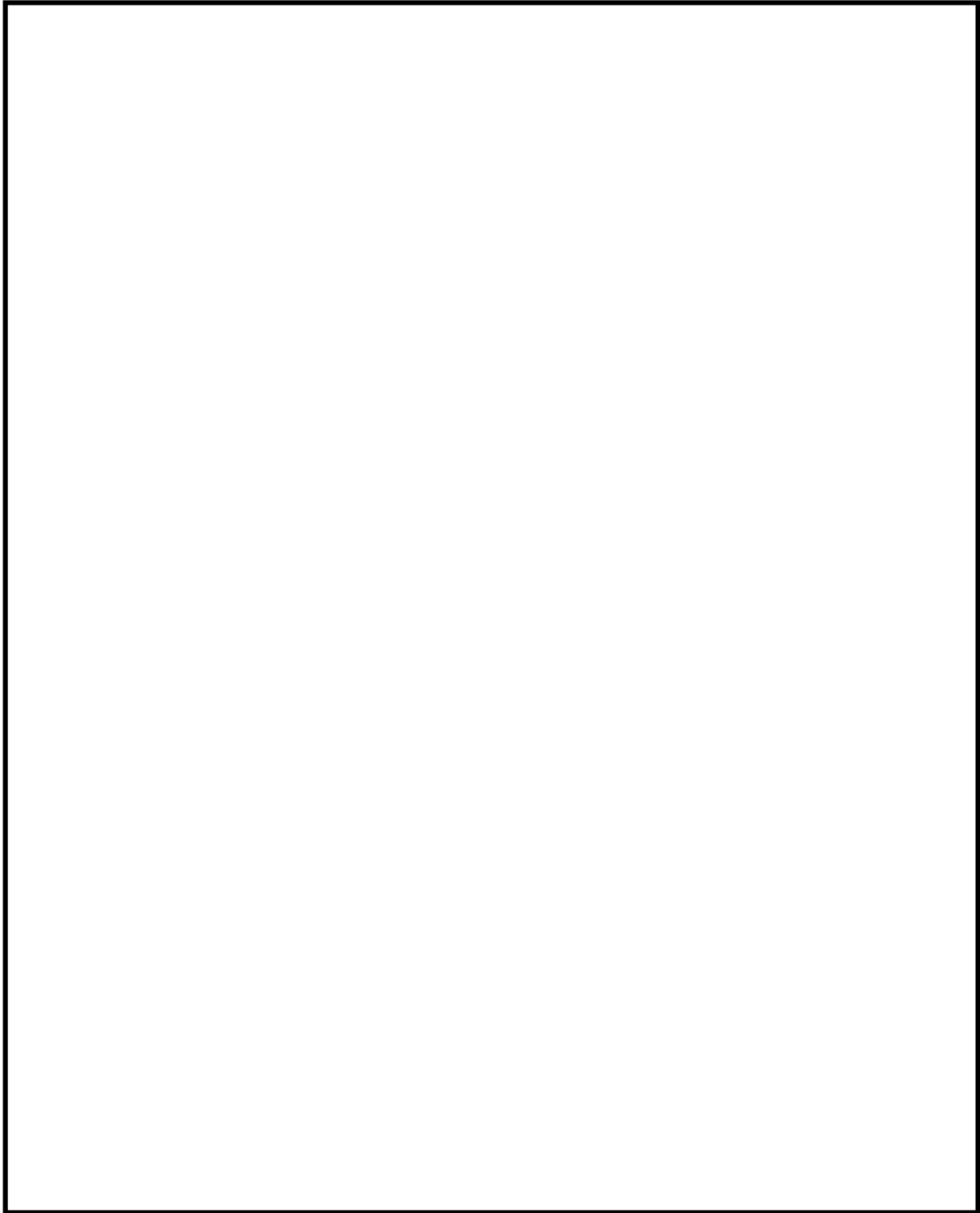
#### (2) A-S G保管庫

計算結果を第4表に示す。

第4表 A-S G保管庫からの合計線量

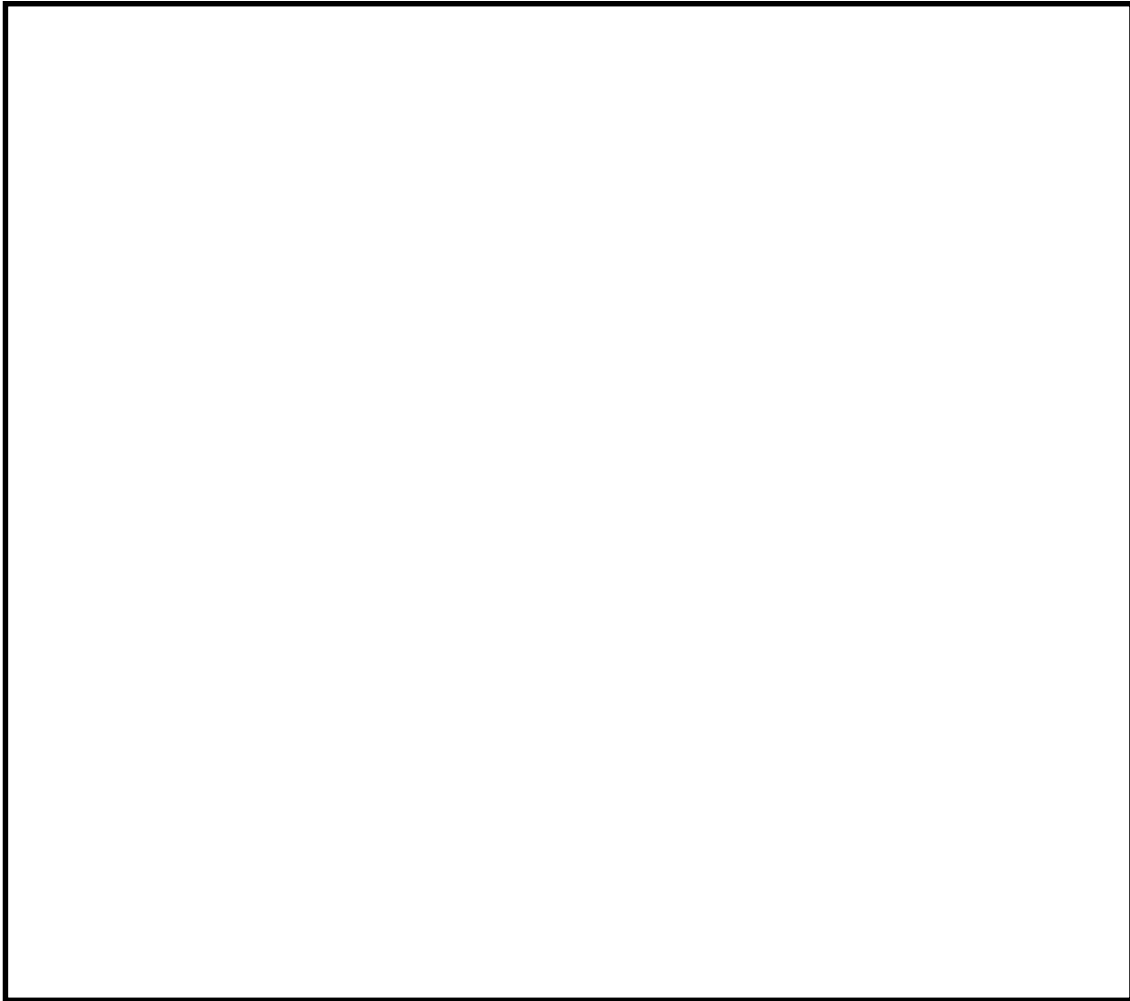
線源	年間線量(μGy/年)
既保管物	$1.5 \times 10^{-1}$
合 計	$1.5 \times 10^{-1}$





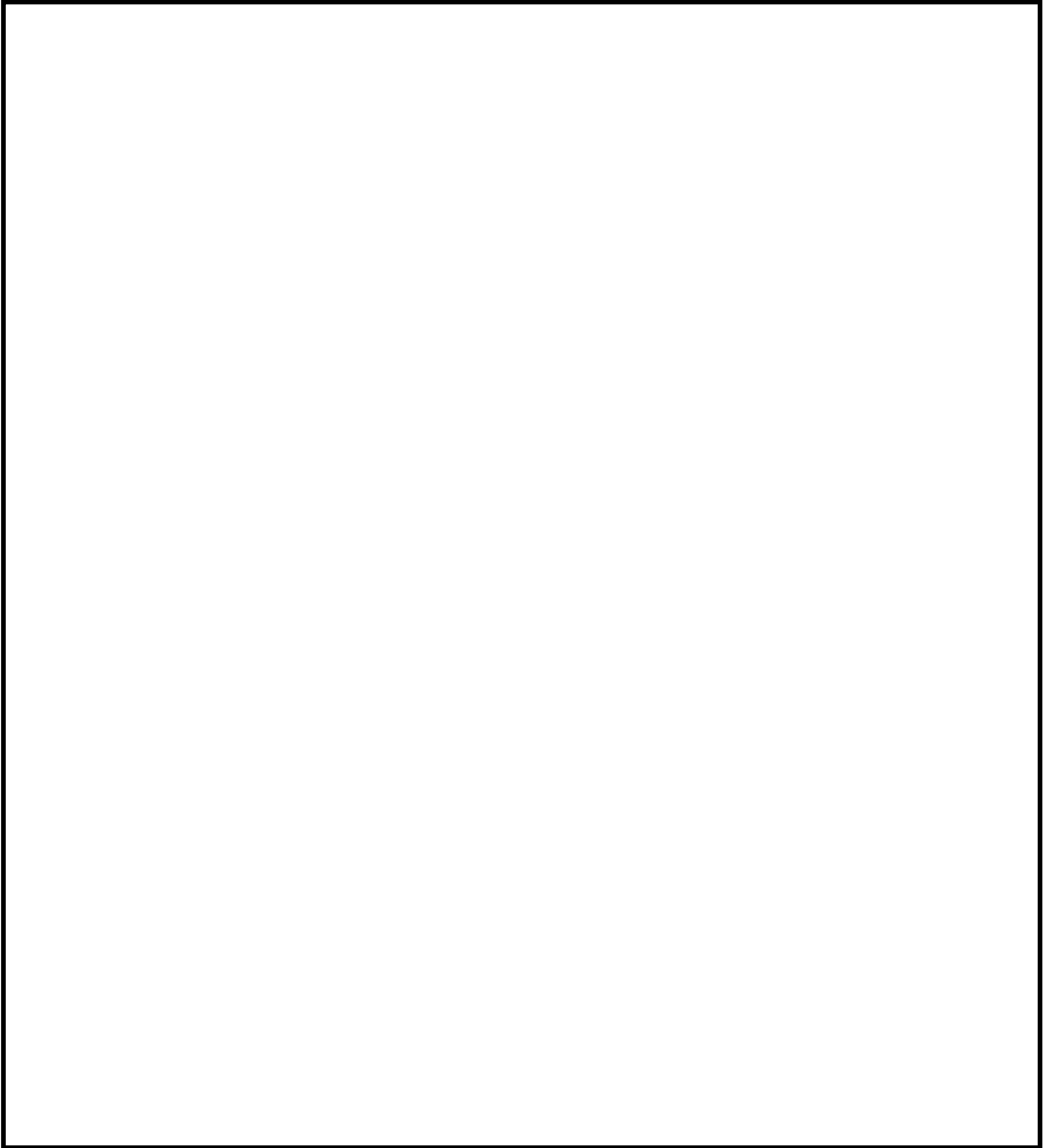
第 1 図 減容 B P 運搬用容器からの直接ガンマ線量計算形状図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第2図 減容BP運搬用容器からのスカイシャインガンマ線量計算形状図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第3図 線量評価地点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

#### 4. 評価結果

B-SG保管庫への減容BPの保管に伴う、B-SG保管庫の保管物及び既設建屋を含め直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量を評価した。既保管物及び既設建屋を含めた高浜発電所の敷地境界外における直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量は第5表に示すとおり年間35.4 $\mu$ Gyであり、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」（平成元年3月27日原子力安全委員会了承一部改訂平成13年3月29日原子力安全委員会）に示される年間50 $\mu$ Gy以下であることを確認した。

第5表 直接ガンマ線量及びスカイシャインガンマ線量の評価結果

線 源		線 量 ( $\mu\text{Gy}/\text{年}$ )	
原子炉 格納容器	1・2号機	スカイシャインガンマ線量	$9.8 \times 10^{-2}$
		直接ガンマ線量	$1.4 \times 10^{-1}$
	3・4号機	スカイシャインガンマ線量	$2.6 \times 10^{-3}$
		直接ガンマ線量	$2.6 \times 10^{-1}$
原子炉 補助建屋等	1・2号機 燃料取替用水タンク	スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量	$2 \times 10^{-1}$
固体貯蔵 廃棄物 庫	A-廃棄物庫	スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量	9
	B-廃棄物庫		$8.0 \times 10^{-2}$
	C-廃棄物庫		19
	D-廃棄物庫		6
	A蒸気発生器保管庫		$1.5 \times 10^{-1}$
	B蒸気発生器保管庫		$2.1 \times 10^{-1}$
	外部遮蔽壁保管庫		$1.1 \times 10^{-1}$
	廃樹脂貯蔵室		スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量
廃樹脂処理建屋	スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量	$8 \times 10^{-4}$	
固体廃棄物固型化处理建屋	スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量	$9.1 \times 10^{-3}$	
使用済燃料輸送容器保管建屋	スカイシャインガンマ線量 直接ガンマ線量	$3 \times 10^{-2}$	
合 計			35.4
(参考) 既工事計画認可申請書での合計			(38.1)

(6) 第三十条 放射線からの放射線業務従事者の防護

設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。

- 一 放射線業務従事者（実用炉規則第二条第二項第七号に規定する放射線業務従事者をいう。以下同じ。）が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。

適合のための設計方針

第1項第1号について

外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減でき、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができる設計とする。具体的には以下のとおりとする。

原子炉施設は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に基づいて管理区域を定めるとともに通常運転時、保守時等において放射線業務従事者が受ける線量が「線量限度等を定める告示」に定められた線量限度を超えないようにし、さらに、放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮蔽及び機器の配置を行うとともに空間線量率の高い区域に設置する弁等は可能な限り遠隔操作可能な設計とする。

なお、遮蔽設計に当たっては、放射線業務従事者の立入り頻度、滞在時間等を考慮して外部放射線に係る設計基準線量率を設け、これを満足するようにする。

減容したバーナブルポイズンを貯蔵保管する蒸気発生器保管庫は、減容したバーナブルポイズンを含む放射性固体廃棄物の貯蔵保管において、放射線業務従事者の受ける線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮蔽、機器の配置等、所要の放射線防護上の措置を講じる設計方針に変更はない。

具体的には、添付のとおり、蒸気発生器保管庫外が管理区域境界の基準を満足している。

また、蒸気発生器保管庫から保管物の一部を移動する外部遮蔽壁保管庫は、移動する保管物のコンクリート片等の表面線量が低い（0.001mSv/h 以下）ため、既工事計画認可申請書での外部遮蔽壁保管庫の遮蔽性能評価における評価条件（保管容器の表面で 0.001mSv/h となる時の線源強度で評価）を満足している。

## B－蒸気発生器保管庫の遮蔽機能評価

### 1. はじめに

使用済燃料ピットに貯蔵している減容したバーナブルポイズン（以下、「減容BP」という。）を専用の容器に収納して、既設のB蒸気発生器保管庫（以下、「B－SG保管庫」という。）に運搬し保管する計画である。

ここでは、蒸気発生器保管庫の遮蔽機能について評価し、蒸気発生器保管庫の壁外表面における線量率が管理区域の基準線量である 1.3mSv/3 月間（0.0026mSv/h）以下であることを確認する。

### 2. 評価条件

#### (1) B－SG保管庫の遮蔽厚

保管庫の壁の材料は鉄筋コンクリートであるが、鉄筋の遮蔽能力はコンクリートよりも大きいため、評価においては全てコンクリートとして扱う。また、コンクリートの壁厚  に対して、評価においてはマイナス側の許容差  を考慮する。

#### (2) 線源条件

線源として、1号炉及び2号炉の減容BP運搬用容器（14基）を対象とし、表面線量率が 2mSv/h となる線源強度を設定する。

減容BPの線源核種としては、BPの放射化により種々の核種が生成されるが、比較的半減期が長く、ガンマ線エネルギーが高い Co-60 を想定する。

なお、B－SG保管庫には、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉の蒸気発生器取替工事や原子炉容器上ふた取替工事に取り替えられた機器を収納した保管容器が貯蔵保管されているが、これらの既保管物については、保管してから長期間が経過していることから、設定表面線量率と保管時の実測値の線量率比、減容BP運搬用容器の運搬時期（2024年4月以降）を考慮した時間減衰率（2023年3月末まで）による補正を考慮することで、既保管物の壁外線量率は減容BPよりも十分に小さくなることを確認しているため、B－SG保管庫の遮蔽性能評価においては減容BP運搬用容器（14基）のみを評価対象とする。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

### (3) 線源強度

減容B P 運搬用容器のガンマ線の線源強度は、容器表面で 2mSv/h に相当する強度を「QAD-CGGP2R コード」により算出した。線源強度は、第1表のとおり。

第1表 減容B P 運搬用容器の線源強度

線源	基数	線源強度
減容B P 運搬用容器	14 基	1.9E+03 MeV/(cm <sup>3</sup> ·s) (代表エネルギー 1.3MeV) (容器表面で 2mSv/h に相当する強度 (単位体積当たり))

### (4) 評価モデル

減容B P 運搬用容器は、B-S G 保管庫内で固定しないことから、移動した場合を考慮し、評価点での評価が厳しくなるように、評価点に対して減容B P 運搬用容器 1 基分の線量率を評価し、距離に係わらず基数倍 (14 倍) することで合計線量率を評価する。

第1図に「減容B P 運搬用容器からのB-S G 保管庫壁外線量率計算形状図」を示す。

### (5) 計算結果

上記条件を用いて、B-S G 保管庫の壁外表面における減容B P 運搬用容器からの直接ガンマ線量率は「QAD-CGGP2R コード」により計算を行った。計算結果を第2表に示す。

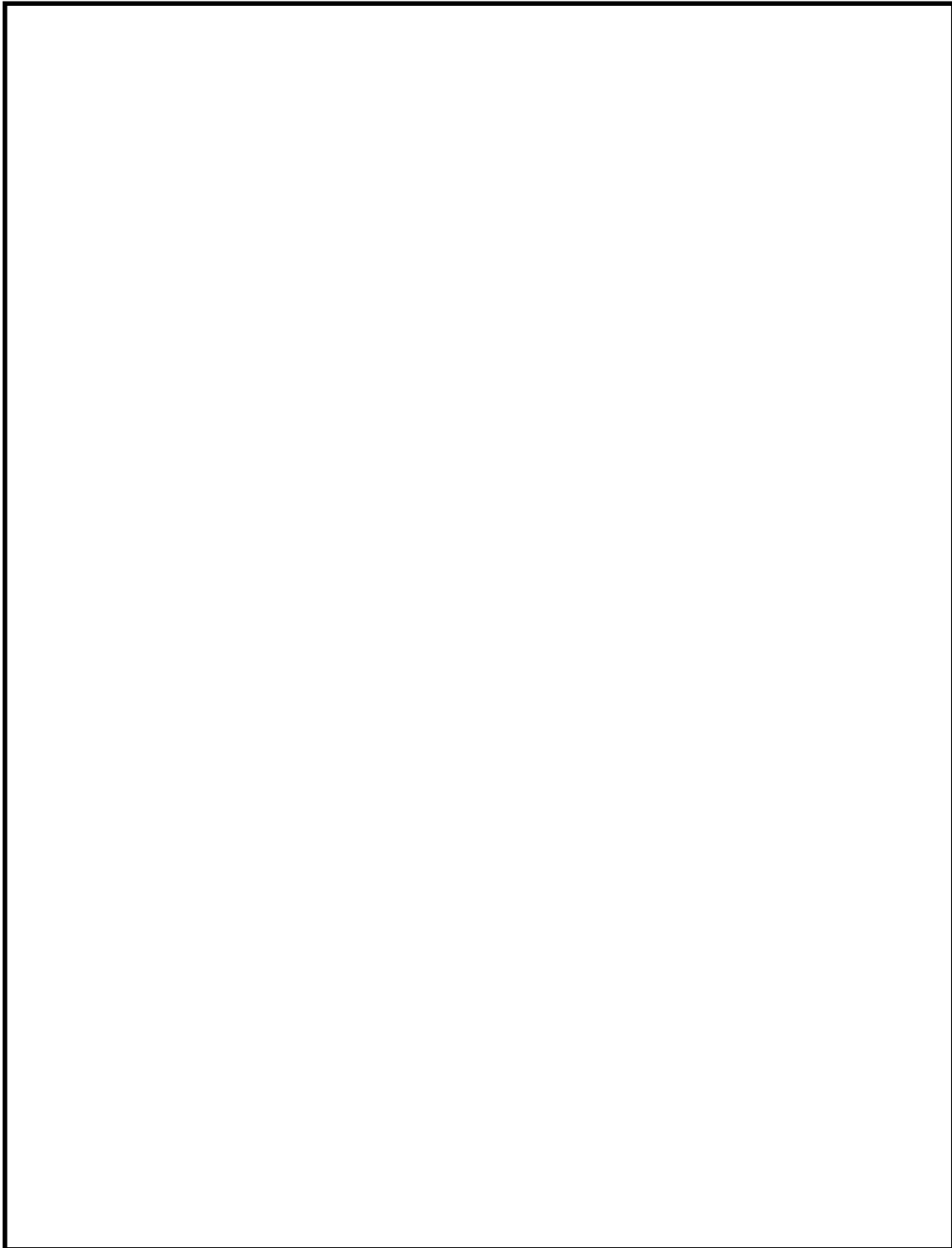
第2表 B-S G 保管庫の壁外表面における  
減容B P 運搬用容器からの直接ガンマ線量率計算結果

線源	線量率(mSv/h)	
減容B P 運搬用容器	直接ガンマ線量率	0.0011

## 3. 評価結果

B-S G 保管庫への減容B P 運搬用容器の保管に伴う、B-S G 保管庫壁外の直接ガンマ線量率を評価した。減容B P 運搬用容器による壁外線量率は 0.0011mSv/h であり、0.0026mSv/h (1.3mSv/3 月間を 500 時間/3 月間(年 2000 時間)として算出したもの) を満足していることを確認した。





第 1 図 減容 B P 運搬用容器からの B - S G 保管庫壁外線量率計算形状図  
(直方体モデル)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 減容したバーナブルポイズン運搬用容器の遮蔽機能評価

### 1. はじめに



使用済燃料ピットに貯蔵している減容したバーナブルポイズン（以下、「減容 B P」という。）を専用の容器に密封収納して、既設の B 蒸気発生器保管庫（以下、「B-SG 保管庫」という。）に運搬し保管する計画である。

ここでは、減容 B P 運搬用容器の遮蔽機能について評価し、運搬用容器の表面線量率が  $2\text{mSv/h}$  以下であることを確認する。

### 2. 評価条件

#### (1) 減容 B P 運搬用容器の遮蔽厚

基本設計段階であり、最終的には容器表面で  $2\text{mSv/h}$  以下となる遮蔽厚で運搬用容器を設計するが、現時点においては以下のとおり。（第 1 図 減容 B P 運搬用容器概略図）

- ・ 容器胴部 : 
- ・ 容器蓋、底部 : 

#### (2) 線源条件

減容 B P の線源核種としては、B P の放射化により種々の核種が生成されるが、比較的半減期が長く、ガンマ線エネルギーが高い Co-60 を想定する。

#### (3) 線源強度

以下の放射化放射エネルギーの計算の基本式に基づき、減容 B P 運搬用容器の放射エネルギーを算出した。算出した結果を第 1 表に示す。

また、第 1 表の放射エネルギーを元に線源強度を算出した。算出した結果を第 2 表に示す。

(放射化放射エネルギーの計算の基本式)

$$A = N_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot T_s)) \cdot \exp(-\lambda \cdot T_d)$$

ここで、

- A : 放射化放射エネルギー (Bq)
- $N_0$  : 原子数 (atom)
- $\sigma$  : Co-59 (n,  $\gamma$ ) Co-60 反応断面積 (b)
- $\phi$  : 熱中性子束 ( $\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ )
- $\lambda$  : Co-60 崩壊定数 ( $\text{s}^{-1}$ )
- $T_s$  : 照射時間 (s)
- $T_d$  : 冷却時間 (s)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第 1 表 減容 B P 運搬用容器の放射化放射能量 (1 容器当たり)

放射化放射能量 (Bq)	
高浜 1 号炉	高浜 2 号炉
$2.3 \times 10^{13}$	$2.2 \times 10^{13}$

第 2 表 減容 B P 運搬用容器のガンマ線の線源強度 (1 容器当たり)

代表エネルギー (MeV)	線源強度(MeV/s)	
	高浜 1 号炉	高浜 2 号炉
1.3	$5.8 \times 10^{13}$	$5.6 \times 10^{13}$

(4) 評価モデル

第 2 図に「減容 B P 運搬用容器の容器表面線量率計算形状図」を示す。

(5) 評価結果

上記条件を用いて、減容 B P 運搬用容器の容器表面線量率を「QAD-CGGP2R コード」により計算を行った。評価結果を第 3 表に示す。

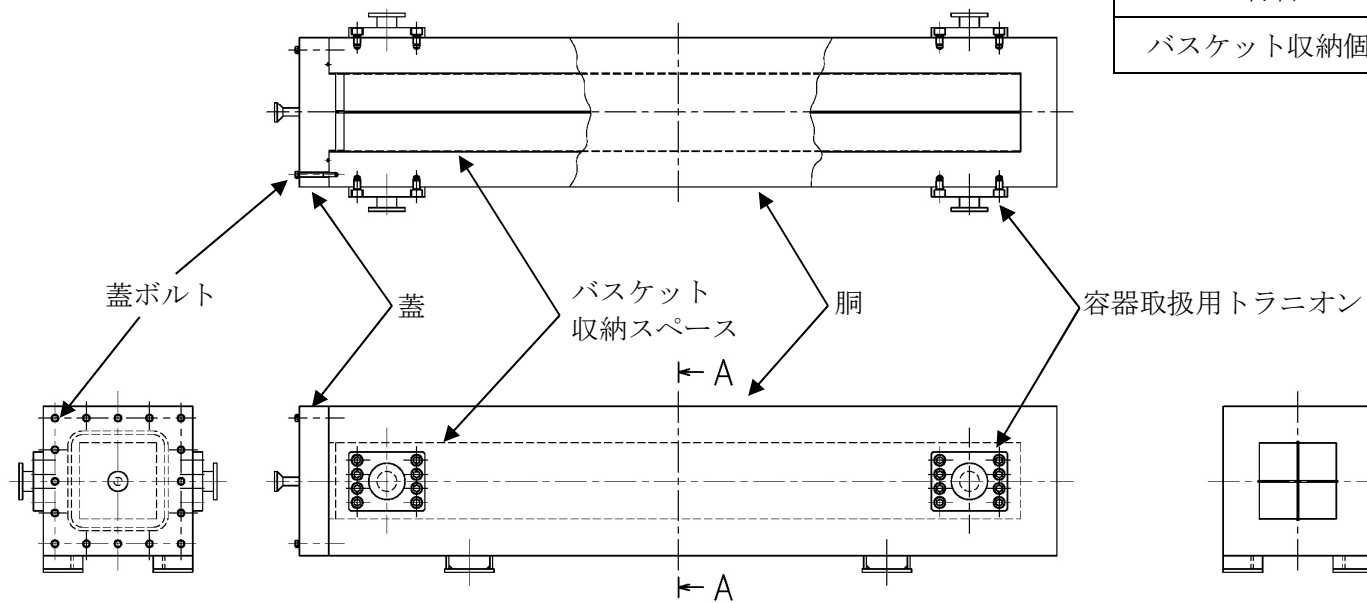
第 3 表 減容 B P 運搬用容器の容器表面線量率

代表エネルギー (MeV)	容器表面線量率 (mSv/h)	
	容器胴部	容器蓋部・底部
減容 B P 運搬用容器	$1.8 \times 10^0$	$1.7 \times 10^0$
遮蔽設計基準	$\leq 2$	

### 3. 評価結果

B-SG保管庫へ保管する減容BPの運搬用容器表面における線量当量率を評価した。容器表面で1.8mSv/hであり、2mSv/h以下を満足していることを確認した。

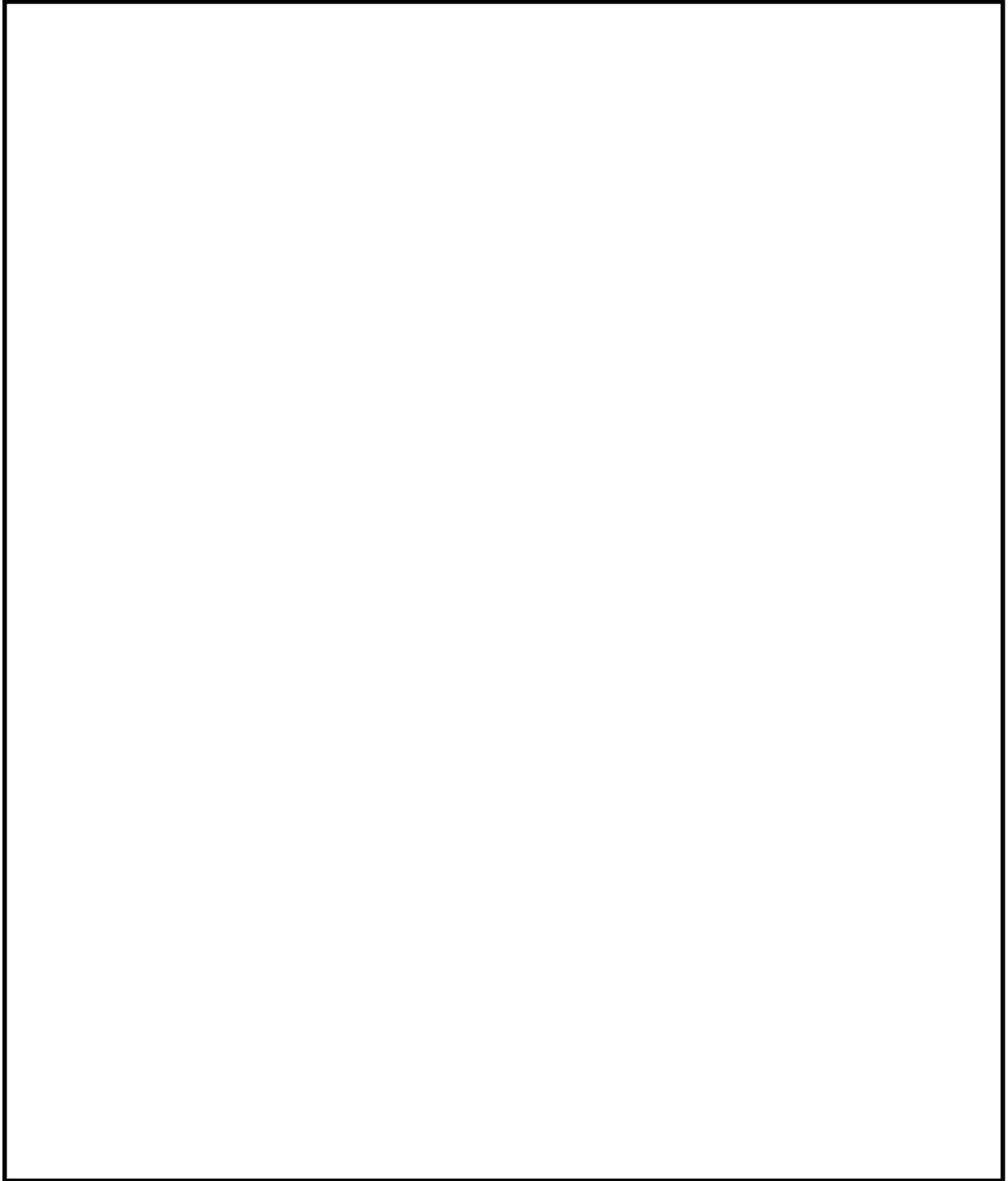
また、線源強度に基づき減容BPの発熱量を算出した結果、発熱量は0.01kW以下（1容器当たり）と非常に微小であることから、減容BP運搬用容器は自然冷却による除熱が可能である。



主要目表		
主要寸法	全長	約 4.6m
	幅	約 0.9m
	高さ	約 0.9m
	胴板厚さ	約 0.2m
材料		SS400
バスケット収納個数		4個

断面AA

第1図 減容BP運搬用容器概略図



第 2 図 減容 B P 運搬用容器の容器表面線量率計算形状図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 解析コードの概要

項目 \ コード名	QAD-CGGP2R
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所及び日本原子力研究開発機構
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver.1.04
使用目的	遮蔽計算 (蒸気発生器保管庫における管理区域境界線量率、敷地境界線量計算及び減容したバーナブルポイズン運搬用容器のガンマ線量率計算)
コードの概要	<p>本解析コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法解析コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所がICRP1990年勧告の国内関連法令・規則への取り入れにあわせて、実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源及び遮蔽体を直方体、円筒、球等の3次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を点減衰核積分法により計算することができる。</p>
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)	<p><b>QAD-CGGP2R Ver.1.04</b>は、点減衰核積分法による蒸気発生器保管庫における管理区域境界線量率及び敷地境界線量計算、減容したバーナブルポイズン運搬用容器のガンマ線量率計算に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 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>・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードは、線量率計算を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら計算条件が与えられれば線量率計算は可能であり、蒸気発生器保管庫における管理区域境界線量率及び敷地境界線量計算、減容した</li> </ul>

	<p>バーナブルポイズン運搬用容器のガンマ線量率計算に適用可能である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ JRR-4散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子力第1船遮蔽効果確認実験報告書」JNS-4（日本原子力船開発事業団、1967））と計算値を比較した。実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値とQADコードによる計算値を比較し、実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。</li> <li>・ 上記妥当性確認では、実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値とQADコードによる計算値を比較している。</li> <li>・ 今回の蒸気発生器保管庫における管理区域境界線量率及び敷地境界線量計算、減容したバーナブルポイズン運搬用容器のガンマ線量率計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、ガンマ線の補助遮蔽の遮蔽体透過後の線量率を計算する。</li> <li>・ 今回の蒸気発生器保管庫における管理区域境界線量率、敷地境界線量計算及び減容したバーナブルポイズン運搬用容器のガンマ線量率計算は、上記妥当性確認内容と合致している。</li> <li>・ また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」（JEAC4615-2008）では、固体廃棄物貯蔵庫等の補助遮蔽のための点減衰核積分コードとして、QADコードが挙げられている。</li> </ul>
--	---



項目 \ コード名	SCATTERING
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所及び三菱重工業株式会社
開発時期	1974年
使用したバージョン	Ver.90m
使用目的	遮蔽計算 (蒸気発生器保管庫における敷地境界線量計算)
コードの概要	点減衰核積分法を使用した1回散乱近似法によるスカイシャインガンマ線量の解析コードであり、ガンマ線が空気中で散乱を受けた後、観測点に到達する散乱線量(スカイシャインガンマ線量)を計算する。また、点減衰核積分法により、直接ガンマ線も計算する。
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)	<p>SCATTERING Ver.90m は、点減衰核積分法による蒸気発生器保管庫における敷地境界線量計算に使用している。</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>・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・ 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。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードは、線量率計算を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら計算条件が与えられれば線量率計算は可能であり、蒸気発生器保管庫における敷地境界線量計算に適用可能である。</li> <li>・ ガンマ線スカイシャインについて、米国Radiation Research Associates (RRA) が1977年に米国カンザス州立大学において<sup>60</sup>Co線源を用いたベンチマーク試験を実施しており、このRRAでの実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 詳細は、「SCATTERINGコードの概要」MAPI-1021改7（平成14年、三菱重工業（株））に示されていることを確認している。</li><li>・ 上記妥当性確認では、横壁よりも天井が薄い形状で、スカイシヤインガンマ線量が比較的多い体系での実験による測定値と、SCATTERINGコードによる計算値を比較している。</li><li>・ 今回の蒸気発生器保管庫における敷地境界線量計算は、保管物を線源とし、保管物を囲む側壁は十分な遮蔽があり、保管物を囲む天井は遮蔽が側壁より薄い上記妥当性確認における実験体系と同様の体系である。</li><li>・ 今回の蒸気発生器保管庫における敷地境界線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。</li><li>・ また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」（JEAC4615-2008）では、固体廃棄物貯蔵庫等の補助遮蔽のための散乱線計算コードとして、SCATTERINGコードが挙げられている。</li></ul>
--	---

## 減容したバーナブルポイズンの線源核種の考え方

バーナブルポイズン（以下、「B P」という。）の主な構成部材であるステンレス鋼（ホールドダウン部とロッド部の被覆管）とホウケイ酸ガラス（中性子吸収材料）が原子炉内で中性子照射を受けて生成される主な核種は第1表のとおりであるが、その中で、比較的半減期が長く、ガンマ線エネルギーが高い Co-60 を評価対象の線源核種としている。

なお、減容した B P の冷却期間は、2023 年 3 月末時点で約 36 年以上となる。

第1表 放射化生成物

主要部材	生成核種	半減期*	主なガンマ線エネルギー(MeV) *
ステンレス鋼	Cr-51	27.7 日	0.32 (9.8%)
	Mn-54	312.5 日	0.835
	Mn-56	2.58 時間	0.85, 1.81 (27.2%), 2.11 (14.3%)
	Co-58	70.8 日	0.511 (30%), 0.811
	Fe-59	44.6 日	1.10 (56.5%), 1.29 (43.2%)
	Co-60	5.27 年	1.17, 1.33
ホウケイ酸ガラス	Li-8	0.844 秒	—
	Na-24	15.02 時間	1.37, 2.75
	Al-28	2.24 分	1.78
	Si-31	2.62 時間	1.27 (0.07%)

\* : 出典「放射線データブック」(地人書館, 1982)