第3条　使用済燃料の臨界防止

＜目　次＞

１．設計方針
２．臨界防止設計

（別　添）
別添１　ボロン添加ステンレス鋼のボロン分布について
別添２　乾燥状態における臨界解析について
別添３　冠水状態におけるガドリニアクレジットを考慮した臨界解析について
別添４　バスケット格子内の燃料配置等について
別添５　バスケット及び使用済燃料集合体の変形の影響について
別添６　冠水状態の水密度について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう次の方針に基づき臨界防止設計を行う。

(1)　金属キャスク単体は，その内部のバスケットの幾何学的な配置及び中性子を吸収する材料により，使用済燃料集合体を収納した条件下で，原子力発電所において使用済燃料集合体収納時に冠水すること等技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計とする。

(2)　臨界防止機能の一部を構成するバスケットは，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間における放射線照射影響，腐食等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し，原子力発電所において使用済燃料集合体収納時に冠水すること等技術的に想定されるいかなる場合でも臨界防止上有意な変形を起こさない設計とする。金属キャスク内部のバスケットにより，適切な使用済燃料集合体間隔を保持し，使用済燃料集合体を相互に近接しないよう，使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する構造とし，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計とする。

(3)　使用済燃料集合体を収納した金属キャスクを，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵容量最大に収納した条件下で，金属キャスクの搬入から搬出までの全工程において，金属キャスク相互の中性子干渉を考慮し，金属キャスクの取扱時に金属キャスクが相互に近接すること等技術的に想定されるいかなる場合でも，中性子実効増倍率を 0.95 以下となるよう設計する。

(4)　未臨界性に有意な影響を与える以下の因子を考慮した設計とする。

ａ．配置・形状

貯蔵区域内の金属キャスクの配置，バスケットの形状，バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において適切な安全裕度を考慮する。

金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して完全反射条件（無限配列）としていることから，金属キャスクの滑動を考慮する必要はない。

金属キャスク内部が乾燥された状態では，バスケット及び使用済燃料集

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

合体の変形による実効増倍率の変化はわずかであり，未臨界性評価に有意な影響を与えることはない。

b．中性子吸収材の効果

以下の事項等について適切な安全裕度をもって考慮する。

(a)　製造公差（濃度，非均質性，寸法等）

(b)　中性子吸収に伴う原子個数密度の減少

c．減速材（水）の影響

使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するにあたり冠水することを設計上適切に考慮する。

d．燃焼度クレジット

使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。なお，冠水状態の解析では，可燃性毒物による燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮する。

(5)　使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては，臨界評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないよう，契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを，記録により確認する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　臨界防止設計

(1)　臨界防止構造

金属キャスクは，その内部のバスケットの幾何学的な配置及び中性子を吸収する材料により，技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計とし，以下の配慮を行う。

ａ．使用済燃料集合体を収納するバスケットは，格子構造とし，設計貯蔵期間（50 年）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を考慮した 60 年間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。(「第十五条 金属キャスク」参照)

ｂ．バスケットの材料には，中性子を有効に吸収するボロンを偏在することなく添加したステンレス鋼を用いる。(別添１参照)

金属キャスクの仕様を第１表に，収納する使用済燃料集合体の仕様を第２表に，バスケット構造を第１図に示す。

(2)　臨界解析

金属キャスクの臨界解析フローを第２図に，臨界解析モデルを第３図に，臨界解析条件を第３表に，臨界解析条件の設定根拠を第４表に示す。

金属キャスク及び燃料集合体の実形状を三次元で適切にモデル化し，これまでの輸送容器と貯蔵容器での臨界解析に使用実績のある燃料棒単位セル計算を輸送計算コードＸＳＤＲＮＰＭ，中性子実効増倍率の計算をモンテカルロコードＫＥＮＯ－Ⅴ．ａで行うＳＣＡＬＥコードシステム（4.4ａ）を用いる。断面積ライブラリにはＳＣＡＬＥコードシステムの内蔵ライブラリデータのひとつである 238 群ライブラリデータを使用して中性子実効増倍率を求め，その値が解析コードの精度，解析の裕度を考慮して，0.95 以下となることを確認する。

金属キャスクは多重の閉じ込め構造を有する蓋部により金属キャスク内部は外部から隔離される構造であり，金属キャスクへの使用済燃料集合体収納後に金属キャスク内部の排水及び真空乾燥が行われることから，貯蔵中の金属キャスク内部は乾燥状態であるが，原子力発電所における金属キャスクへの使用済燃料集合体収納時に冠水することから，乾状態燥及び

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

冠水状態で評価する。

ＢＷＲ燃料集合体には反応度抑制効果のある可燃性毒物が含まれているが，中性子減速材のない乾燥状態では可燃性毒物の反応度抑制効果が低下することから，乾燥状態の解析では保守的に可燃性毒物の反応度抑制効果を無視した初期濃縮度の燃料集合体を金属キャスクに全数収納した状態を設定する（別添２参照）。冠水状態の解析では，燃料集合体の燃焼に伴う反応度の低下は考慮せず，可燃性毒物による燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して，炉心内装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が 1.3 となる燃料集合体モデルを金属キャスクに全数収納した状態を設定する（別添３参照）。

また，金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して金属キャスク周囲を完全反射条件とし，金属キャスクの無限配列を模擬することにより，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵容量最大に金属キャスクを配置した条件を包絡した設定とする。バスケット格子内の使用済燃料集合体は中性子実効増倍率が最大となるように金属キャスク中心側に偏向して配置するとともに，バスケットの板厚，内のりの寸法公差や中性子吸収材の製造公差を考慮するなど，十分な安全裕度を見込む（別添４参照）。

なお，貯蔵中のように金属キャスク内部が乾燥された状態では，バスケット及び使用済燃料集合体の変形による実効増倍率の変化は僅かであり，未臨界性評価に有意な影響を与えることはない（別添５参照）。

(3)　解析結果

解析結果を第５表に示す。

乾燥状態及び冠水状態での金属キャスクの中性子実効増倍率（モンテカルロ計算の統計誤差（3σ）を加えたもの）は，判定基準である 0.95 を十分下回ることを確認した。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第１表　金属キャスクの仕様

キャスクタイプ / 仕　様	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）		
寸法	全長：約 5.4m 外径：約 2.5m			
最大収納体数	69 体			
バスケットの材料	ボロン添加ステンレス鋼			
収納する使用済燃料の種類	新型８×８ジルコニウムライナ燃料	新型８×８燃料	新型８×８ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度８×８燃料
最高燃焼度（MWd/t）	40,000	34,000	40,000	40,000
原子炉から取出後の期間（年以上）	18	24	18	18

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第２表　使用済燃料集合体（ＢＷＲ）の仕様

項目	単位	新型８×８ 燃料	新型８×８ ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 ８×８燃料
燃料材質	－	二酸化ウラン	二酸化ウラン	二酸化ウラン
被覆管材質	－	ジルカロイ－2	ジルカロイ－2	ジルカロイ－2
燃料理論密度	%	約 95	約 95	約 97
被覆管肉厚	mm	約 0.86	約 0.86	約 0.86
燃料有効長	m	約 3.71	約 3.71	約 3.71
燃料棒配列	－	8×8	8×8	8×8
集合体あたりの燃料棒数	本	62	62	60
U-235 初期平均濃縮度	wt%	約 3.1	約 3.1	約 3.7

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第３表　臨界解析条件

項目	乾燥状態	冠水状態
金属キャスク内雰囲気	真空	冠水（水密度 1.0g/cm^3）
金属キャスク外雰囲気	真空	
収納物	可燃性毒物の反応度抑制効果を無視した初期濃縮度の燃料集合体 タイプ２　:新型８×８ジルコニウムライナ燃料，濃縮度 約 3.1wt％ タイプ２Ａ:高燃焼度８×８燃料，濃縮度 約 3.7wt％	濃縮度の異なる２種類の燃料棒を用いた炉心装荷冷温状態での無限増倍率が 1.3 となる燃料集合体モデル タイプ２　:STEP-Ⅰ燃料モデルバンドル タイプ２Ａ：STEP-Ⅱ燃料モデルバンドル
収納体数	69 体（金属キャスクの最大収納体数）	
金属キャスクの配列	無限配列（金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射）	
バスケット部材中の中性子吸収材含有量	ボロン添加ステンレス鋼のボロン含有率と密度を仕様上の下限から設定したボロン原子個数密度	
バスケット寸法	格子板厚　：最小 格子内のり：最小	
バスケット格子内の燃料配置	中心偏向配置	
チャンネルボックス	なし	あり
燃料集合体の上・下タイプレート及びプレナム部	上・下タイプレート及びプレナム部を真空に置換	上・下タイプレート及びプレナム部を水（密度 1.0g/cm^3）に置換
金属キャスクの中性子遮蔽材	中性子遮蔽材であるレジンを真空に置換	
解析コード	ＳＣＡＬＥシステム 4.4a ・燃料棒単位セル計算：輸送計算コードＸＳＤＲＮＰＭ ・臨界解析：臨界解析コードＫＥＮＯ－Ⅴ．ａ（中性子ヒストリー数 100 万） ・断面積ライブラリ：ＳＣＡＬＥシステム 4.4a の内蔵ライブラリデータのひとつである 238 群ライブラリデータ	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第４表　臨界解析条件の設定根拠

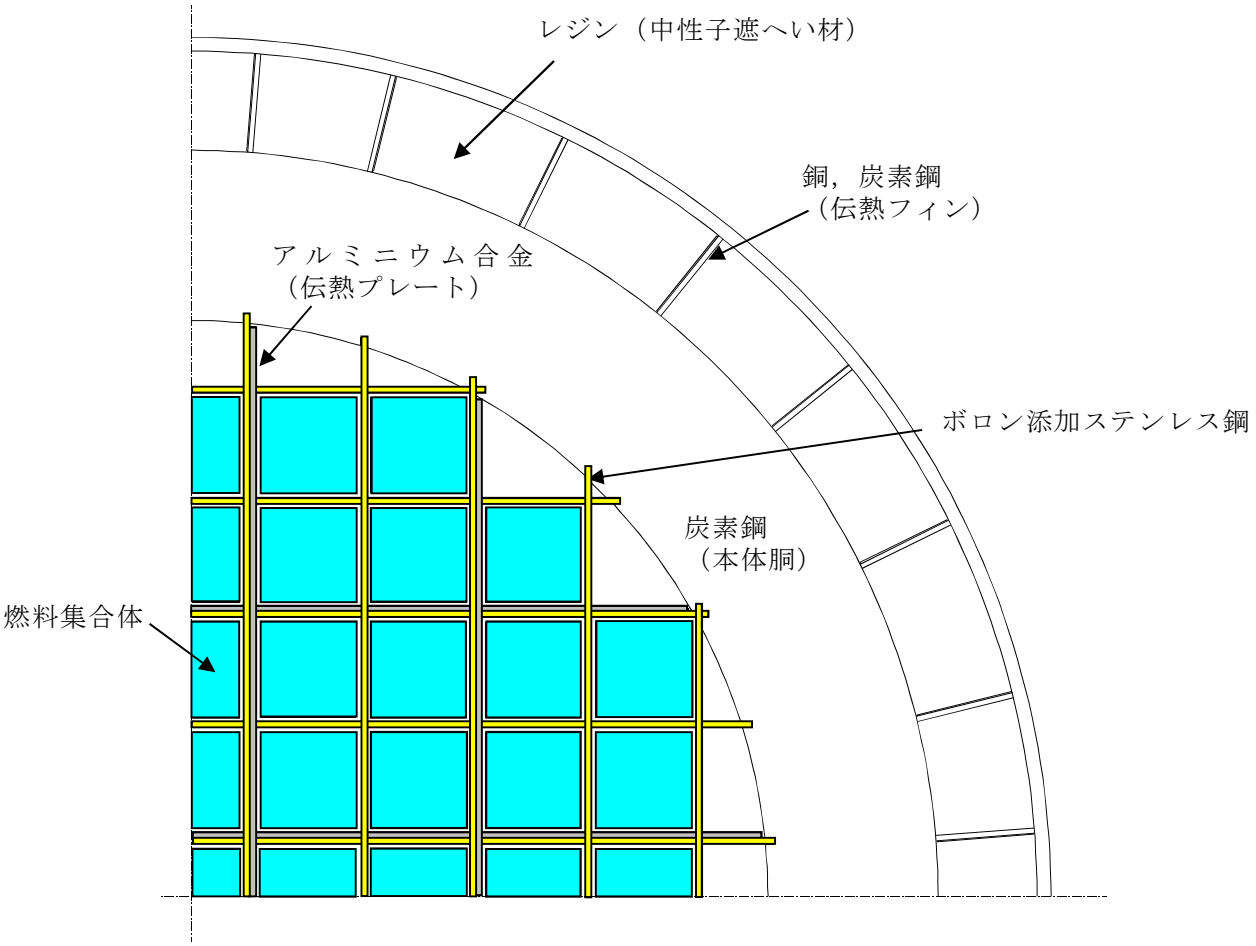
項目	乾燥状態	冠水状態
金属キャスク内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果を無視する真空として設定	中性子減速効果が最大となる水密度 1.0g/cm^3 として設定(別添６参照)
金属キャスク外雰囲気	金属キャスク外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく金属キャスクに向かうように真空として設定	
収納物	ガドリニアの存在を無視し，濃縮度は平均初期濃縮度の最大値とした燃料	炉心装荷冷温状態で無限増倍率は1.3未満であるが,無限増倍率が1.3となるようなモデルバンドル
	３種類の燃料集合体を収納するタイプ２Ａでは，濃縮度が高い理由等から反応度が最も高くなる高燃焼度８×８燃料を全数装荷	
収納体数	金属キャスクの最大収納体数である６９体	
金属キャスクの配列	体系計算における境界条件は金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射とすることにより，金属キャスクの無限配列を模擬	
バスケット部材中の中性子吸収材含有量	中性子吸収材を少なくするように仕様上の下限から設定 設計貯蔵期間（50年）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する60年間の ^{10}B の減損割合は，保守的に全中性子束を用いて評価しても 10^{-6}～10^{-5} 程度であり影響は無視できる(JNES 金属キャスク貯蔵技術確証試験 H15 最終報告では，熱中性子束で評価して 10^{-11} 程度)	
バスケット寸法	格子板厚　：最小の方が隣接する使用済燃料集合体までの距離が短く，ボロン量も最小となり，厳しい評価 格子内のり：格子内のり最小のモデルは，使用済燃料集合体の離隔距離が最小になり，厳しい評価	
バスケット格子内の燃料配置	チャンネルボックスの有無を含めサーベイ計算を行い，中性子実効増倍率が最大となる金属キャスク中心偏向配置	
	金属キャスク中心偏向配置 　タイプ２　：0.374 　タイプ２Ａ：0.410 格子内中央配置 　タイプ２　：0.372 　タイプ２Ａ：0.408	金属キャスク中心偏向配置 　タイプ２　：0.878 　タイプ２Ａ：0.882 格子内中央配置 　タイプ２　：0.868 　タイプ２Ａ：0.872
チャンネルボックス	隣接する使用済燃料集合体までの距離が短くなる（燃料集合体が密集する),チャンネルボックスなしの場合の中性子実効増倍率が高い	中性子減速材である水の効果が大きくなる，チャンネルボックスありの場合の中性子実効増倍率が高い
燃料集合体の上・下タイプレート及びプレナム部	ステンレス鋼製の上・下タイプレート及びプレナム部は，鋼材の中性子吸収を無視する真空として設定	ステンレス鋼製の上・下タイプレート及びプレナム部は，中性子減速材である水として設定
金属キャスクの中性子遮へい材	中性子遮へい材は中性子を吸収するので，中性子遮へい材が無いと想定した方が保守的の評価となるため，中性子遮へい材（レジン）を無視（真空）	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第５表　臨界防止設計に係る臨界解析結果

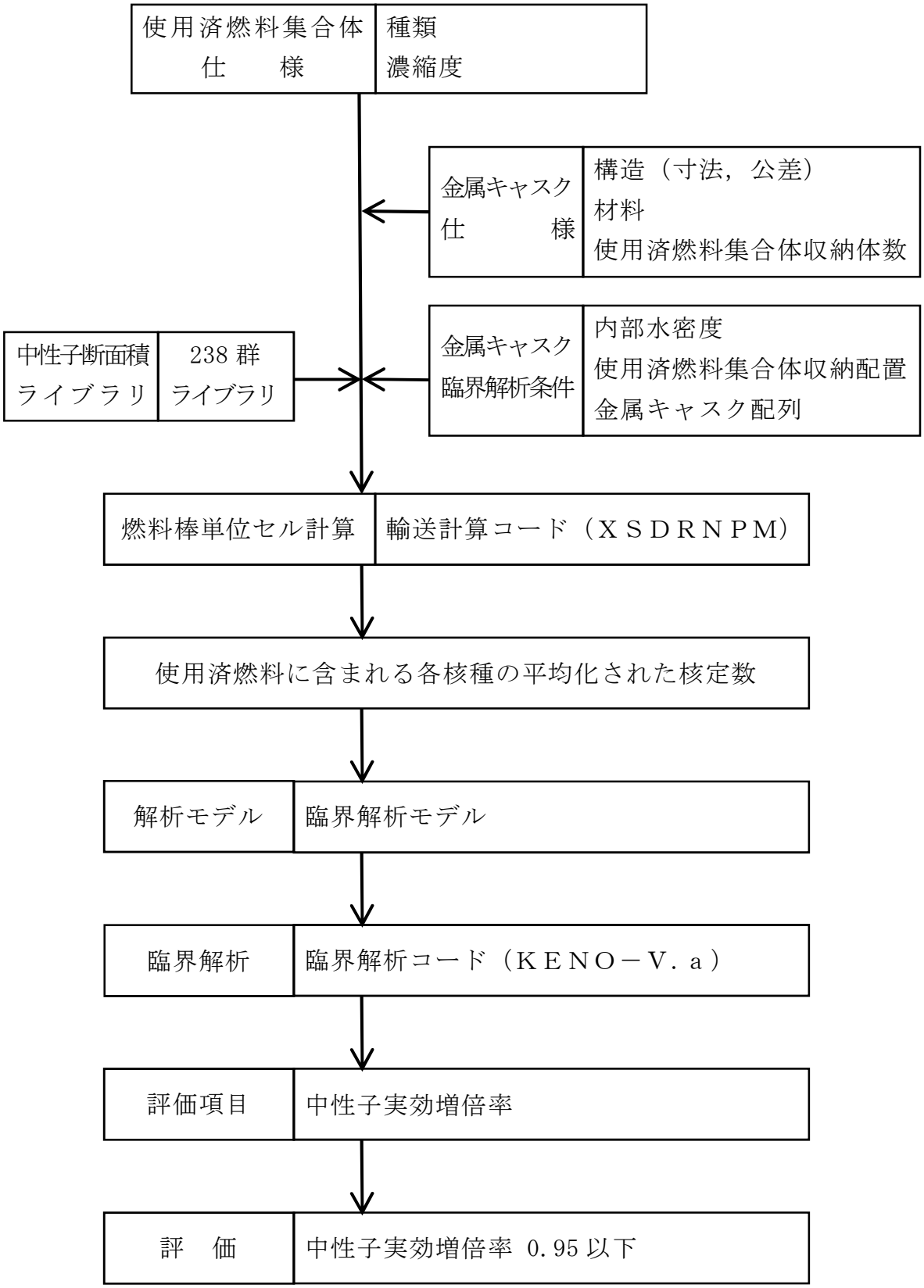
	ＢＷＲ用 大型キャスク （タイプ２）	ＢＷＲ用 大型キャスク （タイプ２Ａ）
乾燥状態（新燃料） keff+3σ	0.374 (Keff:0.37264, σ：0.00028)	0.410 (Keff:0.40855, σ：0.00030)
冠水状態（ｶﾞﾄﾞﾘﾆｱｸﾚｼﾞｯﾄ） keff＋3σ	0.878 (Keff:0.87494, σ：0.00087)	0.882 (Keff:0.87935, σ：0.00088)
判定基準	0.95 以下	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第１図　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）のバスケット構造

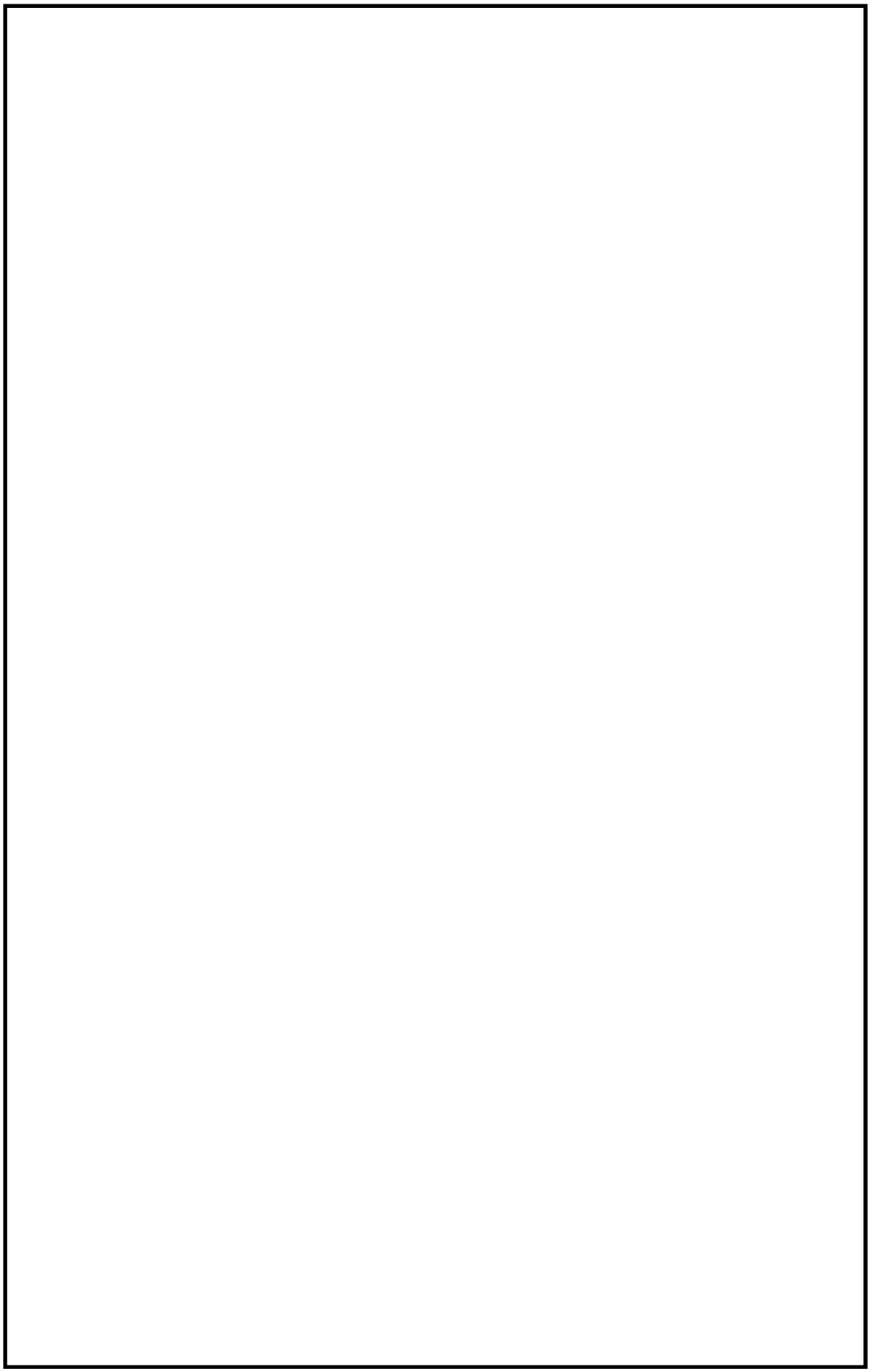
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第２図　金属キャスクの臨界解析フロー図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



第３図　臨界解析モデル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１

ボロン添加ステンレス鋼のボロン分布について

ボロンの偏在や均質性に関して，バスケット材料の製造プロセスにおいて管理され，中性子吸収性能の低下を無視できると考えていることから，臨界解析において，ボロンは均等に分布し，かつ，均質であるとして評価を行っている。

別添１－１表に示すように，バスケット部材のボロン添加ステンレス鋼は，中性子吸収材であるボロン含有量と材料密度を仕様上の下限値から設定したボロンの原子個数密度を解析の入力値として使用している。

また，別添１－２表に示すように，金属キャスクで使用するボロンを添加したバスケット材料については，ボロン量，ボロンの粒子径や分散性に関して，製造時に製品のボロン量の分析や金属組織観察により確認することから，ストリーミングによる中性子吸収性能の低下を無視できると考えている。

米国の乾式キャスク貯蔵システムの「Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems(NUREG-1536)」（以下，SRP という。）では，臨界解析における固定式中性子吸収材の効果の考慮は，その存在や均一性が確認できる試験が行われない場合は，75%までと規定されている。また，この SRP にも適用される ISG-15「MATERIALS EVALUATION」では，吸収材が非均一な材料の場合，吸収材の粒子の自己遮へい，及び中性子が吸収材の粒子間をストリーミングすることで中性子吸収性能が低下するとしている。

これは，吸収材の粒子がマトリックス材中に不均一に分散あるいは凝集したり，粒子が大きい（例えば，B_4C の 80μm の粒子）ために，同じ量の吸収材を含有する均一な材料に比べて，中性子吸収性能が有意に低下するという Burrus[1] と Wells[2] の論文を参考に記載している。

一方，独立行政法人原子力安全基盤機構によるボロンクレジットに関する文献調査[3] においては，Stanley E. Turner[4] による，分離炭化ボロン粒子間のストリーミングの反応度効果に関して，寸法の小さい粒子（10－25μm）を使う吸収体では，ストリーミングによる反応度への影響は無視できるという調査結果が得られている。以下に文献調査の記載を記す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

「湿式又は乾式貯蔵における実際的な利用において，BORAL*などの B_4C 粒子が比較的大きい（110－180μm）吸収体では，ストリーミングの影響は＜0.0020Δk である。一方，金属・セラミック複合体（メタミック）などさらに寸法の小さい粒子（10－25μm）を使う吸収体では，基本的には無視できる程度のストリーミングによる反応度への影響が示されている。要するに，透過率では影響があるが，中性子増倍率では影響は無視できると解釈できる。」

＊ ボロンを用いた中性子吸収材で,アルミニウム板二枚の間にサンドイッチ状に B_4C とアルミニウム粉末を混合した混合粉末焼結体を挟み込み圧延した板状の成形体。海外では，例えば，ステンレスに接合させて，バスケットとして使用している。

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）で使用するボロンを添加したバスケット材料については，ボロン量，ボロンの粒子径や分散性に関して，バスケット製造時に製品のボロン量分析や金属組織観察により，ボロンが凝集することなく分散し，粒子径が十分小さいことの確認を行うことから,米国 SRP 等における考え方を適用する必要はないと考える。ボロン添加ステンレス鋼の製造及び検査について，以下に記す。

・ボロン添加ステンレス鋼の製造について

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）は，ボロン添加ステンレス鋼（JSME S FA-CC-004）を用いる。ボロン添加ステンレス鋼の製造方法は，一般的な鋼板の方法と同様である。製造工程フローを別添１－１図に示す。ボロンは，溶解時にフェロボロンの形で必要量混合される。溶解の後，造塊工程を経て圧延を行う場合と，連続鋳造で圧延される場合がある。圧延後は，オーステナイト系ステンレス鋼と同様に固溶化熱処理（約 1000～1150℃，急冷）を行っている。

・ボロン添加ステンレス鋼の検査について

ボロン量，ボロンの粒子径や分散性については，製品のボロン量分析及び金属組織観察により確認する。ボロン添加ステンレス鋼の検査内容を別添１－２図に示す。試験片は，同一溶解同一熱処理のロット毎にコイルから切り出す。試験片の採取は，圧延での製造工程を考慮し，圧延条件等に

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

不安定要因が介在しやすいと考えられる圧延開始側と，安定した条件で製造される圧延終了側から採取する。

なお，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）で使用するボロン添加ステンレス鋼は，使用済燃料ラックや輸送容器用バスケットとして製造実績が多数あり，ボロンが凝集することなく分散し，粒子径が十分小さいことが確認されている[5)]。

参考文献

1） W. R. Burrus, “How Channeling between Chunks Raises Neutron Transmission through Boral”, Nucleonics, Vol. 16, No. 1, pp. 91-94 (1958)

2) A. H. Wells, et al, “Criticality Effect of Neutron Channeling Between Boron Carbide Granules in Boral for a Spent Fuel Shipping Cask”, Transactions of the American Nuclear Society, Vol. 54, pp. 205-206 (1987)

3)“平成 20 年度中間貯蔵施設基準体系整備報告書（中間貯蔵施設基準体系整備)”,（独）原子力安全基盤機構（平成 22 年３月）

4) Turner, S. E.,“Reactivity Effects of Streaming Between Discrete Boron Carbide Particles in Neutron Absorber Panels for Storage or Transport of Spent Nuclear Fuel”, *Nuclear Science and Engineering*, 151, 344 (2005)

5)（株)日立製作所,「使用済燃料貯蔵ラックの使用材料としてのボロン添加ステンレス鋼について」, HLR-061,（平成 10 年 3 月）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

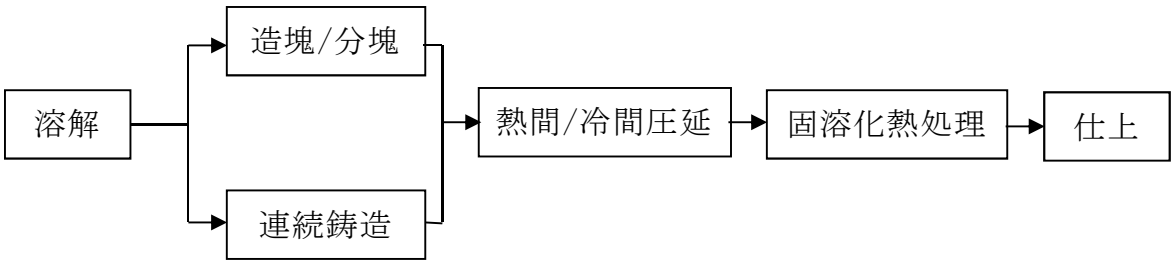
別添１－１表　ボロン添加ステンレス鋼のボロン濃度

板厚	6 mm ～ [redacted] mm
添加ボロン	天然ボロン（^{10}B [redacted] at%）
ボロンの化学形態	ボライド　（Cr,Fe）$_2$B
ボロン含有量	天然ボロン含有量 1 mass%以上 材料密度 [redacted] g/cm^{3}以上
設定根拠	天然ボロン含有量は材料規格の下限値（JSME S FA-CC-004） 材料密度は購入仕様下限値

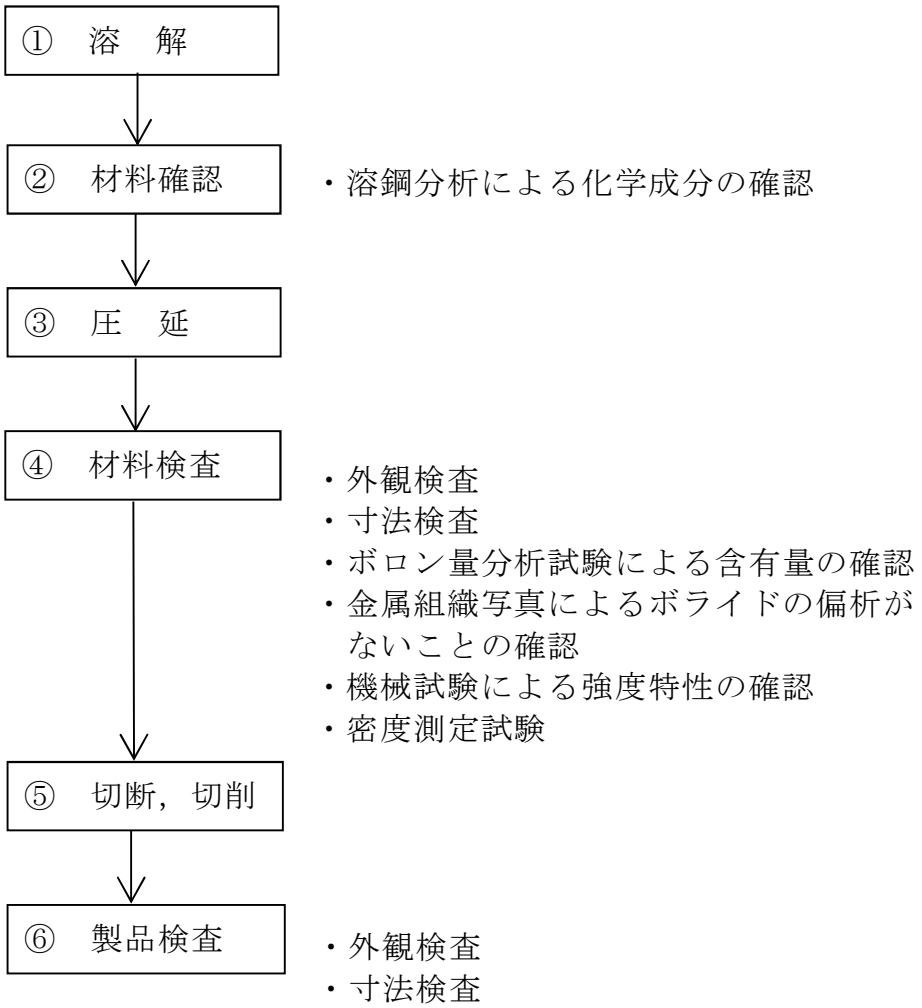
別添１－２表　ボロンを添加したバスケット材料の製造管理

^{10}B含有量	ボロン含有量 1 mass%以上
（担保方法）	（製品の同一ロット（同一溶鋼，同一熱処理条件）毎に複数箇所からボロン量分析を行い，ボロンが所定の重量以上であることを確認）
平均粒子径	約 20 μm
（担保方法）	（製品製造実績を有する製造工程管理，製造時金属組織観察）
分散性	均一
（担保方法）	（製品製造実績を有する製造工程管理，製造時金属組織観察）
中性子吸収能力	ボロン添加量設計仕様下限値の100%相当
（担保方法）	（ボロン含有量，平均粒子径及び分散性に係る品質管理により中性子吸収能力を確認）
備考	・ボロンが均一に分散し，かつ平均粒子径が小さいため，中性子吸収性能への影響はほとんどなく，所定の未臨界性能を確保 ・ボロン添加ステンレス鋼は，使用済燃料ラックや輸送容器用バスケットとして製造実績が多数あり，ボライドが凝集することなく分散し，粒子径が十分小さいことが確認されている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－１図　製造工程フロー



別添１－２図　検査内容

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

乾燥状態における臨界解析について

ＢＷＲ燃料集合体には反応度抑制効果のある可燃性毒物が含まれているが，中性子減速材のない乾燥状態では可燃性毒物の反応度抑制効果が低下することから，保守的に可燃性毒物の反応度抑制効果を無視した初期濃縮度の燃料集合体を金属キャスクに全数収納した状態を設定する。

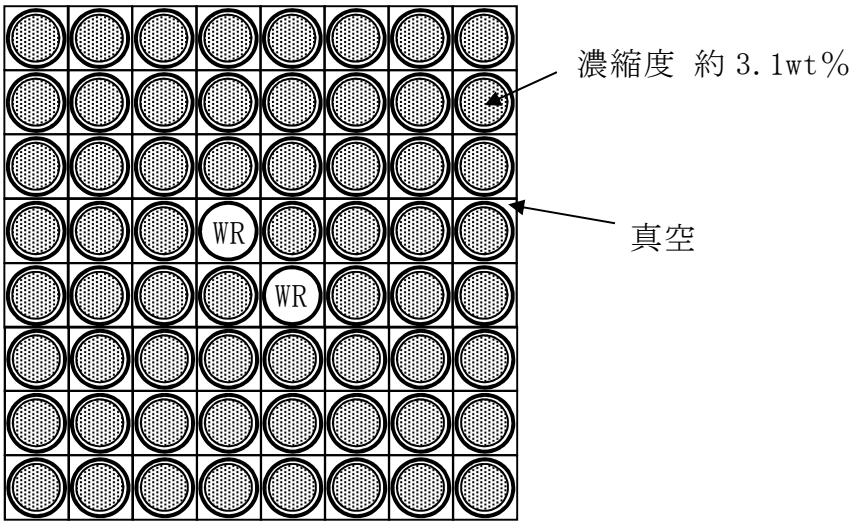
臨界解析に用いる燃料集合体の仕様を別添２－１表及び別添２－１図に示す。ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）は新型８×８ジルコニウムライナ燃料のみ収納することから新型８×８ジルコニウムライナ燃料を，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）では３種類の燃料集合体を収納するが反応度が最も高くなる高燃焼度８×８燃料とし，濃縮度はそれぞれの燃料の初期濃縮度の新燃料仮定としている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

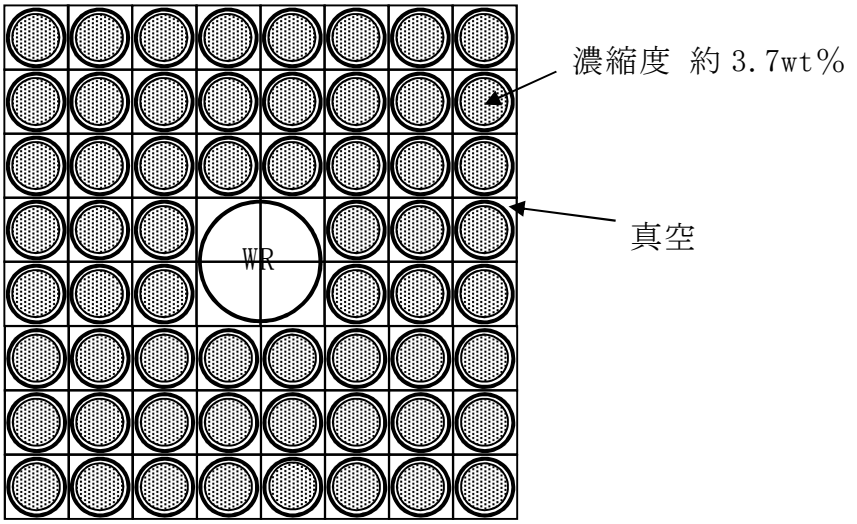
別添２－１表　乾燥状態における臨界解析用の使用済燃料集合体の仕様

項目	単位	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）
燃料タイプ	－	新型８×８ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度８×８燃料
燃料材質	－	二酸化ウラン	二酸化ウラン
被覆管材質	－	ジルカロイ－2	ジルカロイ－2
燃料理論密度	%	95	97
燃料ペレット直径	mm	10.3	10.4
被覆管肉厚	mm	0.86	0.86
燃料有効長	mm	3708	3708
燃料棒配列	－	8×8	8×8
集合体あたりの燃料棒数	本	62	60
燃料棒ピッチ	mm	16.3	16.3
集合体の幅	mm	130.4	130.4
U-235 濃縮度	%	約 3.1	約 3.7

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



(a) ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）用



(b) ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）用

別添２－１図　乾燥状態における臨界解析用の使用済燃料集合体

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

冠水状態におけるガドリニアクレジットを考慮した臨界解析について

1.　ガドリニアクレジットを考慮した臨界解析手法の概要

ＢＷＲ燃料は，余剰反応度の抑制と軸方向出力分布の調整のために，燃料ペレットに可燃性毒物であるガドリニア（Gd_2O_3）を含む設計を採用しており，格子型，濃縮度・ガドリニア設計など，プラントに対応させた多様性がある。多様性のある燃料を包括的に扱う手法として，ＢＷＲ燃料の実設計を包絡する無限増倍率（k∞）を設定してモデルバンドルを作成し，ＢＷＲプラントの燃料貯蔵設備やキャスクの未臨界性設計を保守的かつ合理的に実施する方法がある。

ＢＷＲ燃料は，燃料ペレットにガドリニアを含む燃料棒が組み込まれていることから，ガドリニアの燃焼に伴って k∞は一旦上昇するが，今回収納する燃料においては，最大となる k∞はいかなる燃料のいかなる軸方向断面においても，炉心装荷冷温状態で 1.3 を超えることがない設計になっている。

このため，臨界評価において，炉心装荷冷温状態で k∞が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドルを収納して計算を行えば安全側の評価となる。(別添３－１図，別添３－２図参照)

2.　モデルバンドルの作成方法

ＢＷＲ燃料は運転期間中において，出力分布及び余剰反応度の制御を濃縮度と可燃性毒物であるガドリニア設計により行えるようになっており，軸方向断面の燃焼特性は各々異なるが，運転期間中のいずれの断面においても k∞が 1.3 を下回るように設計されている。また，燃料集合体は，できるだけ長期かつ高い燃焼度を取り出しながら，局所出力ピークをできるだけ少なく平坦な出力が維持できるように径方向にも濃縮度の違う燃料棒で制御している。このため，実燃料集合体の内側は高い濃縮度の燃料棒，外側には低い濃縮度の燃料棒が配置されている。この実燃料の濃縮度配分を考慮し，かつガドリニアの無い保守的な状態で臨界計算を実施できるように下記のようなモデルバンドルを設定している。なお，モデルバンドルはガドリニアの無い燃

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

料でモデル化しているため，実燃料集合体よりも k∞は大きいが，平均濃縮度は低くなる特徴がある。

モデルバンドルの作成については，k∞が 1.3 となるモデルバンドルは，任意性があって複数考えられるが，k∞が 1.3 のモデルバンドルでも keff あるいは平均濃縮度が大きくなるように設定している。参考文献 1)に，このようなガドリニアクレジットモデルバンドル作成の考え方が示されている。

別添３－１表に示すように，炉心装荷冷温状態の場合，内側に高濃縮度燃料棒，外側に低濃縮度燃料棒を配置したモデルバンドル（Case1）と，同一濃縮度の燃料棒を配置したモデルバンドル（Case2）は，ともに k∞が 1.3 であるが，平均濃縮度に差が生じている。これは，k∞の評価では，燃料集合体からの漏えい中性子が強く影響するため，実燃料に近い内側領域の濃縮度を高めた Case1 よりも，Case2 のような低い平均濃縮度でも k∞＝1.3 を達成できる。

一方，キャスク体系においては，別添３－２表に示すように，中性子漏えいの大きい同一濃縮度分布の Case2 よりも，内側の濃縮度を高くした Case1 の方が，中性子漏えいが少ないためバスケットの中性子吸収効果が小さく，keff が高くなる。

仮に，高濃縮度と低濃縮度と中間濃縮度の 3 種類の濃縮度を用いて，内側から高濃縮度，中間濃縮度，低濃縮度の燃料棒を配置して k∞が 1.3 のモデルバンドルを作成した場合には，中間の濃縮度の燃料棒により，Case1 に比べて外側領域の濃縮度が高くなり，内側領域の濃縮度が低くなった状態（低い平均濃縮度，中性子漏えいの大きい状態）で k∞は 1.3 となる。キャスク体系においては，バスケットの中性子吸収効果が増えるため 3 種類の濃縮度を用いたモデルバンドルの方が，keff は Case1 より低くなる。したがって，濃縮度を 2 種類としたモデルバンドルに包絡される。

以下にモデルバンドルの設定方法を示す。

① まず低濃縮度燃料棒を全体に配置する。

② 次に高濃縮度燃料棒を配置していくが，バスケットの中性子吸収効果が小さくなるように，バスケットから距離が離れた中央部から置換していき，k∞≒1.3 となるまで繰り返す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

③ 最外周以外の領域全てに高濃縮度燃料棒を配置してもなお,k∞≒1.3を下回る場合（別添３－３図(a)）には，最外周にも高濃縮度燃料棒を配置する。

④ ③により最外周に高濃縮度燃料棒を配置するとk∞≒1.3を超える場合（別添３－３図(b)）には，最外周の領域全てに低濃縮度燃料棒を配置し，それ以外の領域全てに高濃縮度燃料棒を配置した状態（別添３－３図(a)）をベースとして，最外周から2列目の高濃縮度燃料棒と最外周の低濃縮度燃料棒を置換することによってk∞≒1.3となる配置をサーベイしモデルバンドルを設定する（別添３－３図(c)）。

3. ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の冠水状態における臨界解析に用いたモデルバンドル

別添３－３表に示す燃料仕様に基づき，「２．モデルバンドルの作成方法」の考え方に基づいて設定したモデルバンドルを別添３－４図に，このモデルバンドルの無限増倍率を別添３－４表に示す。

モデルバンドルの種類としては，収納する燃料タイプを考慮して２種類のモデルバンドルを設定した。ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）では，新型８×８ジルコニウムライナ燃料のみ収納することから，新型８×８ジルコニウムライナ燃料をベースとしたSTEP-Ⅰ燃料モデルバンドルを用いて解析を行い，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）では，３種類の燃料集合体を収納するが反応度が最も高くなる高燃焼度８×８燃料をベースとしたSTEP-Ⅱ燃料モデルバンドルを用いて解析を行っている。なお，モデルバンドルは，燃料仕様を考慮した最高濃縮度と最低濃縮度（公称値）の燃料棒にて，k∞が1.3となる仮想的なモデルバンドルを設定していることから,U-235濃縮度の最高，最低の本数比，実際の平均濃縮度は一致しない。

モデルバンドルは，別添３－１図のように，１断面の濃縮度分布から設定しており，燃料有効部の全長にわたって，濃縮度分布は一様として扱っている。実燃料では，運転時の軸方向出力分布の調整のために，濃縮度及びガドリニアは軸方向に分布*を持たせているが，モデルバンドルでは，実燃料の濃縮度を平均化等の操作をせずに,k∞が1.3となる保守的な濃縮度分布を軸

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

方向一様に設定している。実燃料のあらゆる軸方向の断面，運転期間（燃焼度）において，k∞は 1.3 以下であり，軸方向一様に k∞が 1.3 となる濃縮度分布を設定することは，実燃料の k∞を包絡しており，保守的な設定である。

なお，炉心装荷冷温状態での燃料集合体ピッチは，炉心内の最小離隔距離である約 152mm としている。キャスク体系では，厚みが約 6 mm のほう素が添加されたバスケット内に収納されることから燃料集合体ピッチを炉心装荷状態よりも大きい約 [ ] mm としている。また，燃料集合体の変形は想定していない。

＊：ＢＷＲ炉心燃料設計の特徴について

ＢＷＲ炉心は軸方向にボイド率分布を持つことを特徴としている。炉心下部はボイド率が小さく，炉心上部はボイド率が大きいため，ボイド率の小さい（減速材の多い）炉心下部で出力が高くなり，出力分布が下方へ膨らみ易い傾向にある。炉心燃料設計では，出力が局所的に大きくならないよう，軸方向出力分布の平坦化を目的として，上下に濃縮度差をつけた上下 2 領域燃料が広く採用されている。また，ガドリニア設計では，運転期間中の炉心余剰反応度量を適切かつ一定に保つように調整され，ガドリニア濃度が低いとガドリニアが早く燃え尽きるため k∞が最大となる燃焼度時期は早くなり，ガドリニア濃度が高いとガドリニアが燃え残るため k∞が最大となる燃焼度時期は遅くなる。

4.　モデルバンドルの妥当性

本モデルバンドルをキャスク体系に使用することの保守性については，別添３－５図に示すようなフローに従い k∞が 1.3 となるモデルバンドルについて，事業許可申請書における解析に用いた KENO コードと炉心設計コードを用いた比較検討を実施している。

具体的には，炉心設計コードによる実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増倍率（k∞3）が 1.3 より小さいことを示し，モデルバンドルの炉心装荷冷温状態での炉心設計コードによる無限増倍率（k∞2）と KENO コードによる無限増倍率（k∞1）の結果に差がなく，k∞1，k∞2 が k∞3 よりも大きくなるこ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

とを確認する。また，モデルバンドルのキャスク体系での KENO コードによる実効増倍率（keff1），炉心設計コードによる実効増倍率（keff2）が，実燃料のキャスク体系での炉心設計コードによる実効増倍率（keff3）より大きくなることを確認する。これらの結果を別添３－５表，別添３－６表に示す。別添３－５表に示すとおり，実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増倍率が 1.3 を超えない設計となっており(1.3＞k∞3),モデルバンドルに対して計算コードの違いによる結果に差がなく（k∞1≒k∞2），モデルバンドルの炉心冷温状態での無限増倍率が，実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増倍率より大きいことを確認している（k∞1＞k∞3，k∞2＞k∞3)。また，キャスク体系においても，実燃料に対して，KENO コードでも炉心設計コードでも，モデルバンドルが保守性を有することを別添３－６表に示すとおり確認している（keff1＞keff3，keff2＞keff3)。

以上のように，設定したモデルバンドルによるキャスク体系の keff は，実燃料の場合よりも大きくなり，モデルバンドルは実際の燃料を包絡するとともに，保守性を有することを確認している。

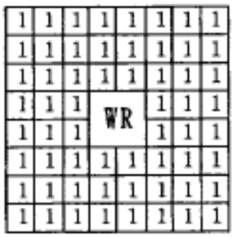
参考文献

1) K.Kawakami，M.Matsumoto，H.Asano，T.Takakura，T.Matsumoto，T.Mochida，M.Yamaguchi，“The Use of Gadolinia Credit for Criticality Evaluation of a Spent Fuel Cask”，PATRAM’95

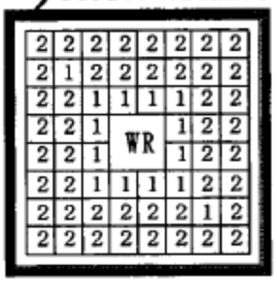
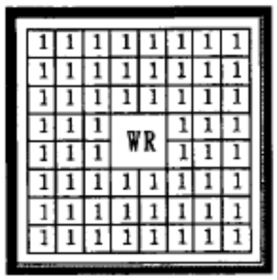
2) 使用済燃料貯蔵施設（中間貯蔵施設）に係る技術検討報告書（平成 12 年 12 月　資源エネルギー庁)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３－１表　モデルバンドルの例（炉心装荷冷温状態の無限増倍率）[1)]

	Enrichment Distribution	Kinf under Cold Core State
Case 1	 1 : 4.90% (Maximum Pellet Enrichment of STEP-II Reload Fuel) 2 : 2.10% (Minimum Pellet Enrichment of STEP-II Reload Fuel) Avg : 2.75%	1.301 (1.300 by WIMS)
Case 2	 1 : 2.54%	1.301

別添３－２表　モデルバンドルの例（キャスク体系の実効増倍率*）[1)]

	Enrichment Distribution	Kinf in Cask Basket Cell
Case 1	 1 : 4.90% 2 : 2.10% Avg : 2.75%	0.83294
Case 2	 1 : 2.54%	0.82791

＊：ここでは，代表的な輸送容器の単位格子を無限に配列した状態の評価

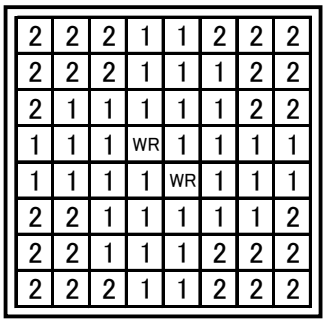
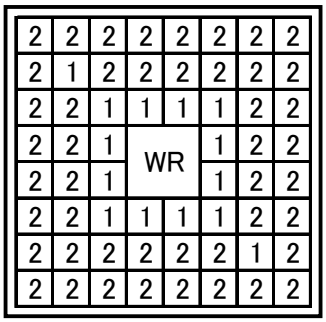
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３－３表　解析用の使用済燃料集合体（ＢＷＲ）の仕様

項目	単位	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）
燃料モデル	－	STEP-Ⅰ燃料モデルバンドル（新型８×８ジルコニウムライナ燃料ベース）	STEP-Ⅱ燃料モデルバンドル（高燃焼度８×８燃料ベース）
燃料材質	－	二酸化ウラン	二酸化ウラン
被覆管材質	－	ジルカロイ－2	ジルカロイ－2
燃料理論密度	%	95	97
燃料ペレット直径	mm	10.3	10.4
被覆管肉厚	mm	0.86	0.86
燃料有効長	mm	3708	3708
燃料棒配列	－	8×8	8×8
集合体あたりの燃料棒数	本	62	60
燃料棒ピッチ	mm	16.3	16.3
集合体の幅	mm	130.4	130.4
U-235 濃縮度	%	最高 3.9	最高 4.9
		最低 1.6	最低 2.1

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３－４表　解析用モデルバンドルの無限増倍率

種類	濃縮度分布パターン	燃料棒本数（本）		C/B有無	無限増倍率	
		高濃縮	低濃縮		k∞	σ
STEP-Ⅰ燃料モデルバンドル	 1：高濃縮度燃料棒 3.9% 2：低濃縮度燃料棒 1.6%	34	28	有	1.30107	0.00056
STEP-Ⅱ燃料モデルバンドル	 1：高濃縮度燃料棒 4.9% 2：低濃縮度燃料棒 2.1%	14	46	有	1.30489	0.00051

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添３－５表　炉心装荷冷温状態の無限増倍率に関する臨界解析一覧

（STEP-Ⅰ燃料モデルバンドルの例）

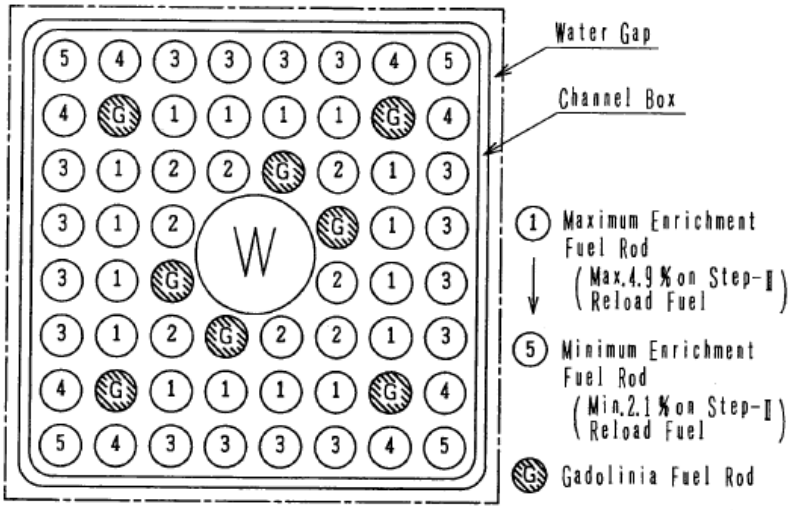
別添３－６表　キャスク体系の実効増倍率に関する臨界解析一覧

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）の例）

ｹｰｽ	燃料集合体	体系	計算コード	計算結果	備考
1	モデル バンドル	単位バスケット セル*2 （無限配列）	KENO	keff1 ＝0.89528± 0.00066	0.95＞keff1＞keff3
2	モデル バンドル	単位バスケット セル*2 （無限配列）	炉心設計 コード	keff2	0.95＞keff2＞keff3
3	実燃焼 バンドル	単位バスケット セル*2 （無限配列）	炉心設計 コード	keff3	

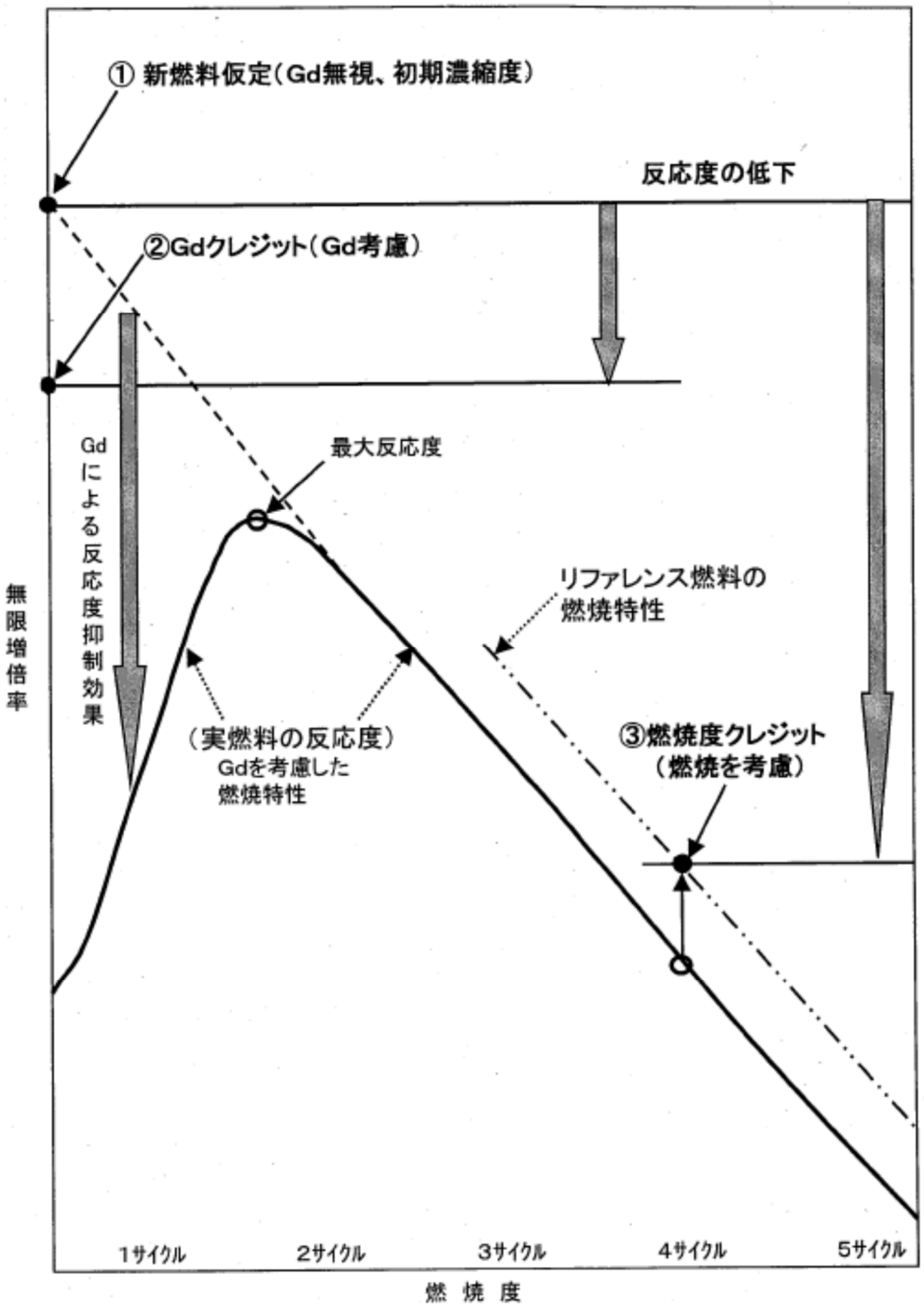
*2:ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）のバスケット，内のり寸法：製造公差最小。
キャスクの単位格子を無限に配列した状態の評価。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添３－１図　ＢＷＲ燃料の濃縮度分布の例[1)]
（高燃焼度８×８燃料）

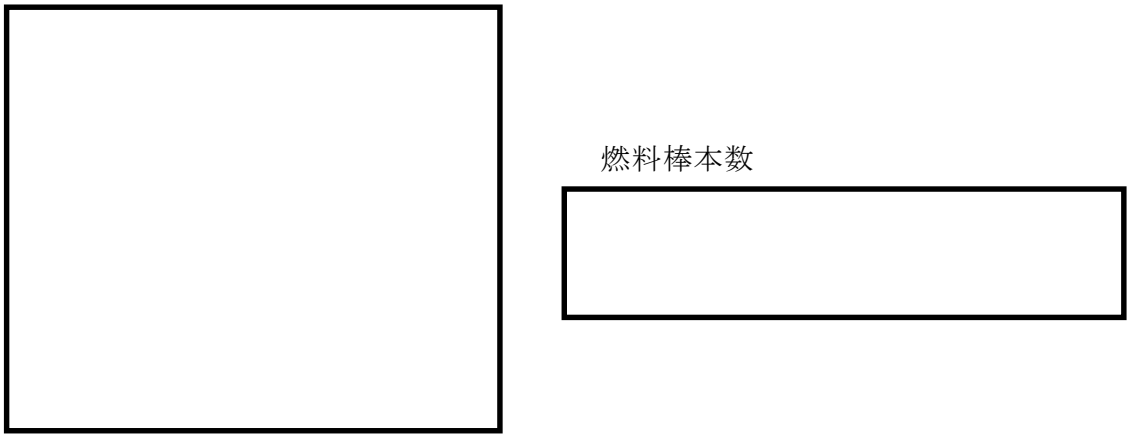
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



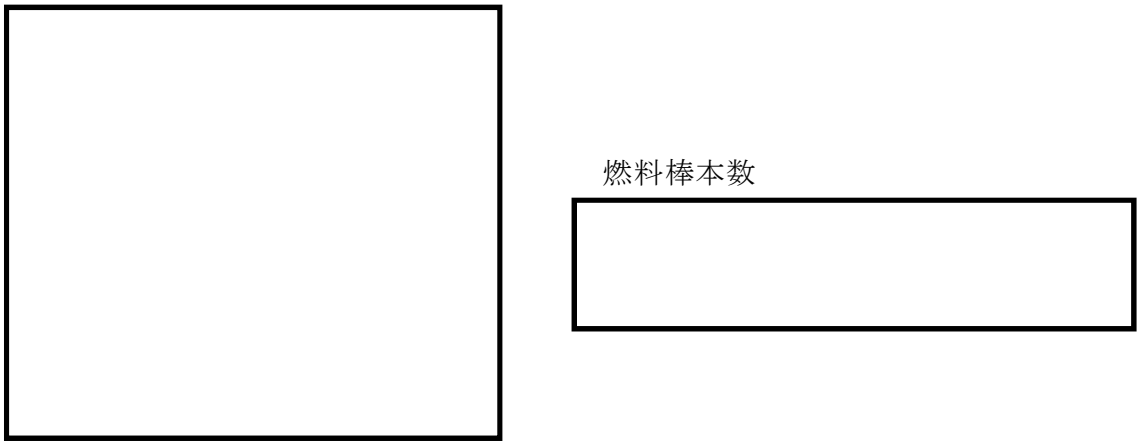
別添３－２図　ＢＷＲ燃料の反応度特性[2)]

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

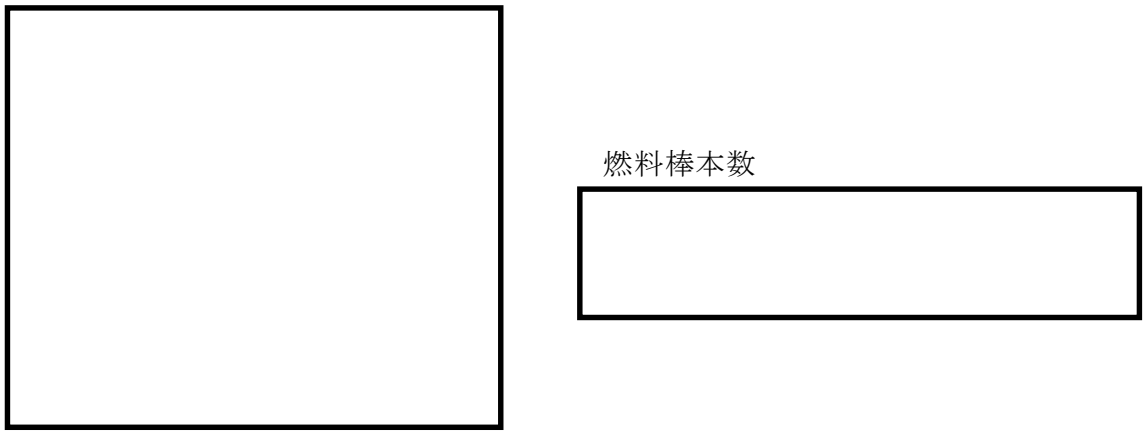
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



(a)　最外周以外の全てに高濃縮度燃料棒を配置



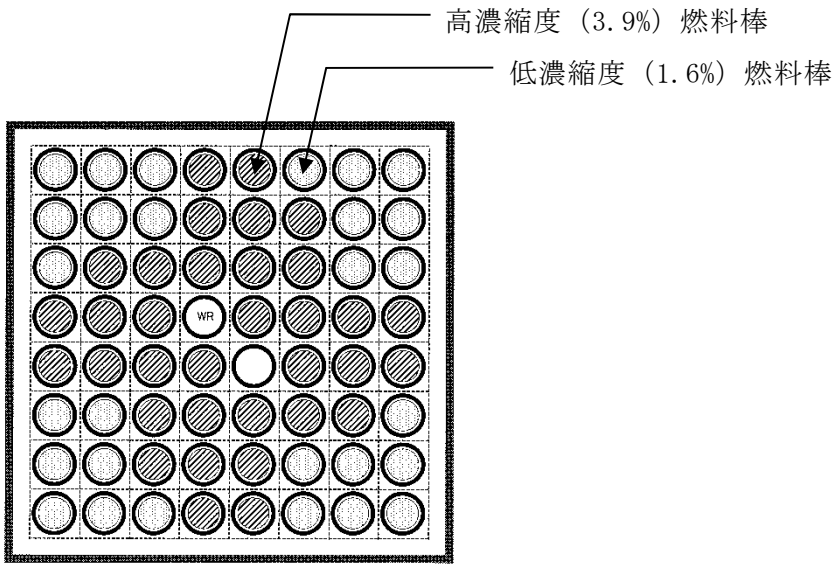
(b)　最外周の一部にも高濃縮度燃料棒を配置



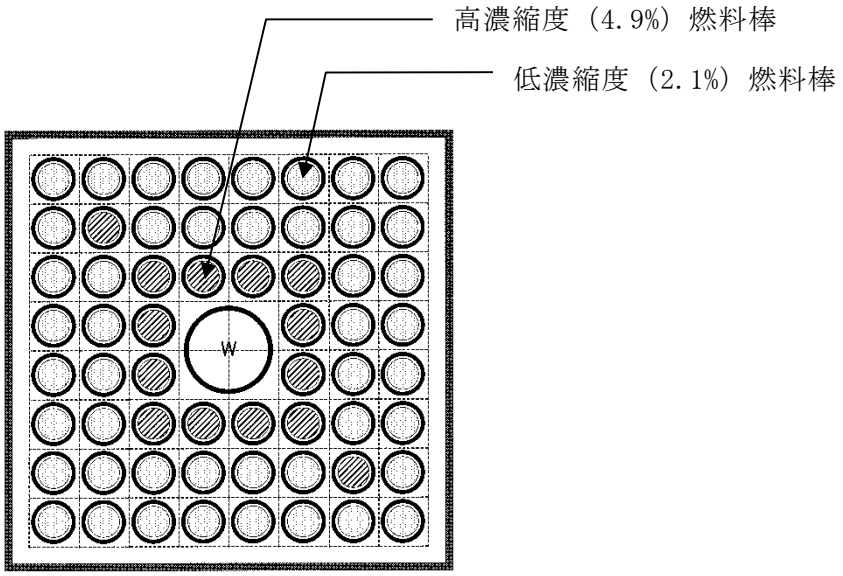
(c)　一部の最外周の低濃縮度燃料棒と最外周から２列目の高濃縮度燃料棒を置換

別添３－３図　モデルバンドル試算例

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



(a)　STEP-Ⅰ燃料モデルバンドル(新型８×８ジルコニウムライナ燃料ベース)



(b)　STEP-Ⅱ燃料モデルバンドル（高燃焼度８×８燃料ベース）

別添３－４図　解析用モデルバンドル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添３－５図　モデルバンドル保守性の検証

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添４

バスケット格子内の燃料配置等について

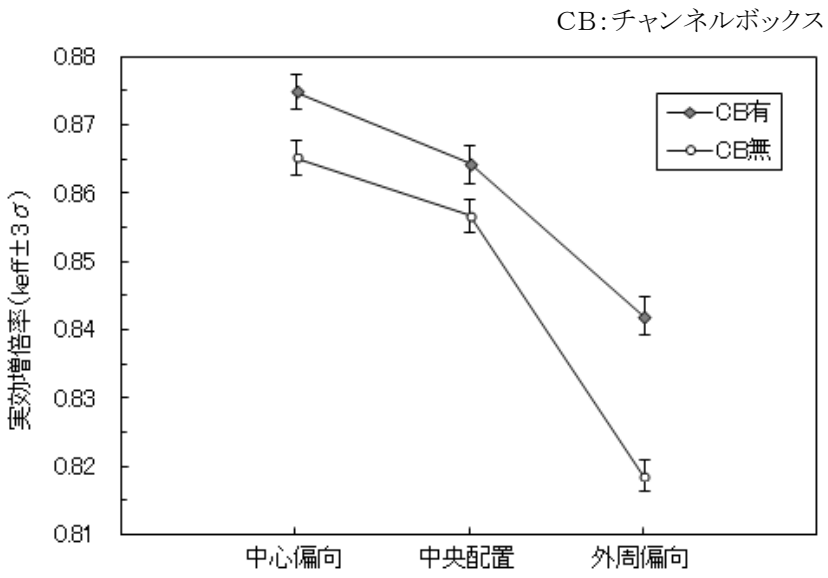
別添４－１図にバスケット格子内の燃料配置と中性子実効増倍率の関係を示す。別添４－１図に示すように，使用済燃料集合体のバスケット格子内の配置，チャンネルボックスの有と無をパラメータにして評価を行い，キャスク中心側に偏向した方が，中性子実効増倍率が大きくなることを確認している。これは，使用済燃料集合体をキャスク中心側に偏向させることで，燃料体系が稠密になり中性子密度が増加する影響と考えられる。また，チャンネルボックスの有，無によって，使用済燃料集合体とバスケットの距離が変化するため，チャンネルボックス有，無両方の評価を行い，中性子実効増倍率を確認している。

なお，別添４－１図は格子内のり最小の結果を記載している。これは，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）では，格子内のり最小のモデルは燃料集合体の離隔距離が最小になり中性子実効増倍率が大きくなるためである。別添４－１図の乾燥状態と冠水状態のぞれぞれで最大の中性子実効増倍率を与える条件において，格子内のりを最小から変化させた結果を別添４－２図に示す。別添４－２図に示すように，格子内のりが小さい方が中性子実効増倍率が大きいことを確認している。

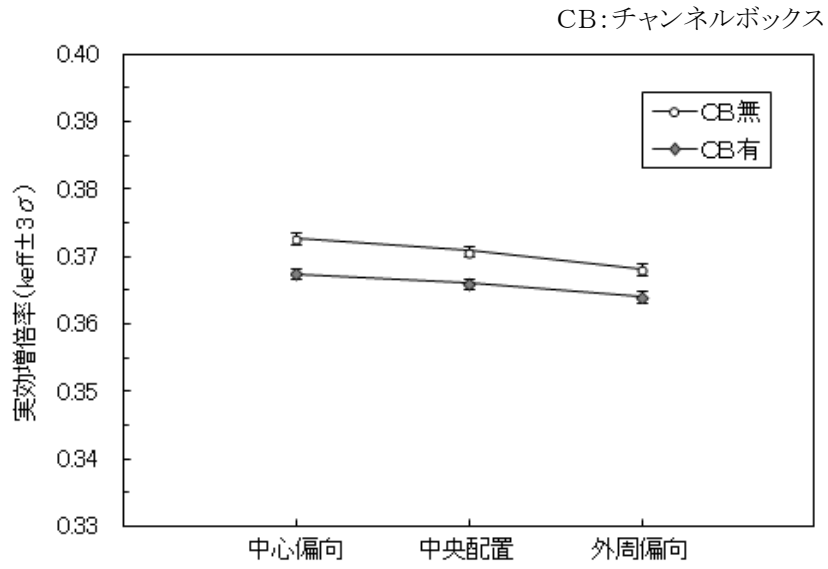
以上のように，最適減速条件と中性子実効増倍率の関係は，バスケット材質，燃料集合体のピッチや配置，燃料集合体周囲の水（減速材）の因子の影響により複雑と考えられるため，バスケット格子内の燃料配置，バスケット格子内の公差等をパラメータとして中性子実効増倍率を確認している。

確認結果に基づき，厳しい評価結果を与える条件として，冠水状態は，格子内のり最小，燃料のセル内配置の中心偏向，チャンネルボックス有の条件，乾燥状態は，格子内のり最小，燃料のセル内配置の中心偏向，チャンネルボックス無の条件を採用している。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



(a)　冠水状態

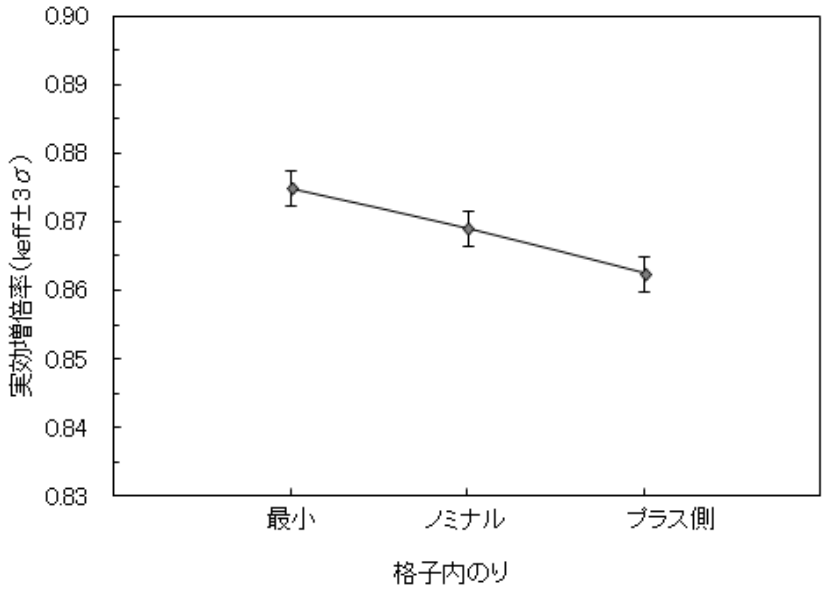


(b)　乾燥状態

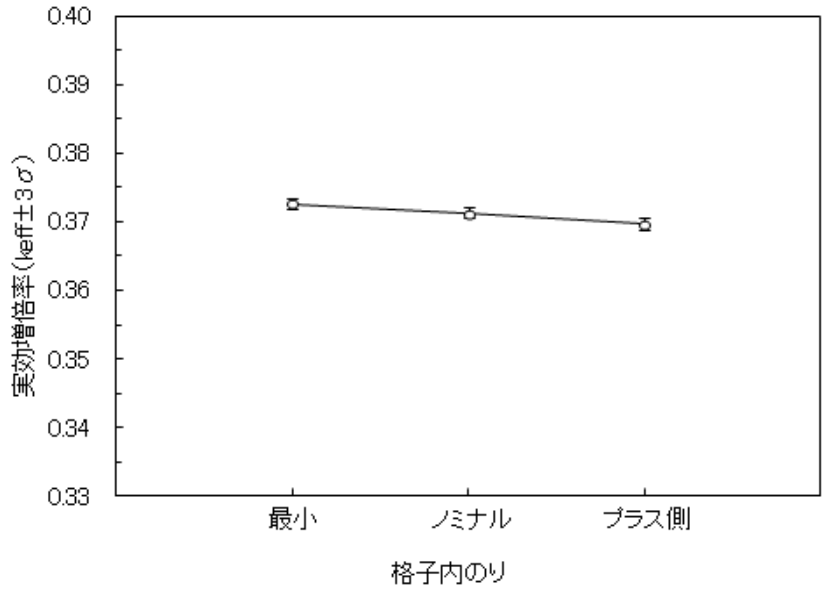
別添４－１図　バスケット格子内の燃料配置と中性子実効増倍率の関係

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



(a)　冠水状態，チャンネルボックス有

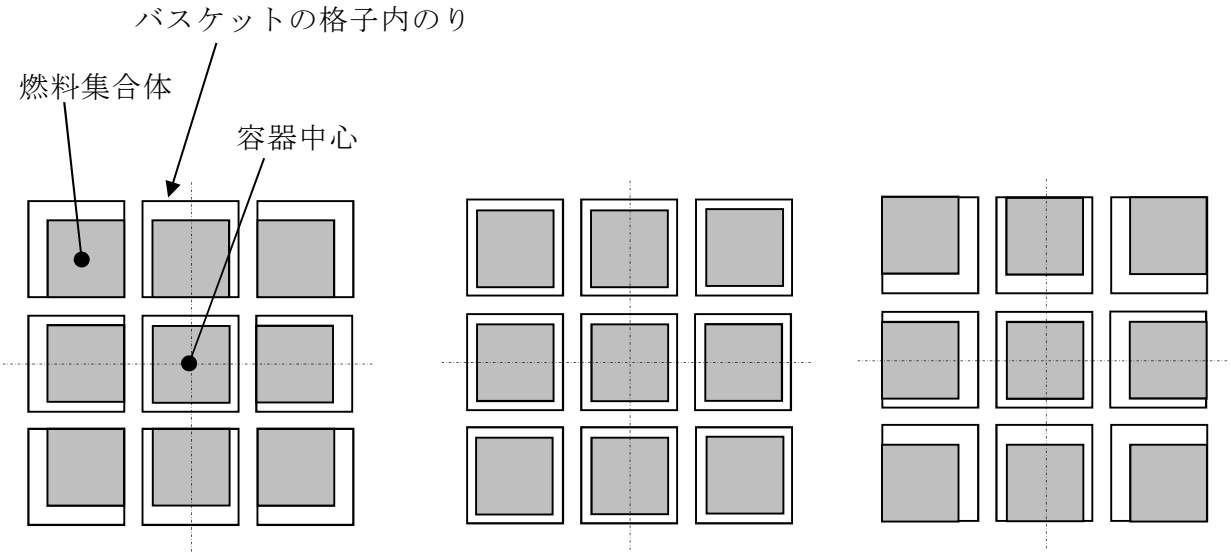


(b)　乾燥状態，チャンネルボックス無

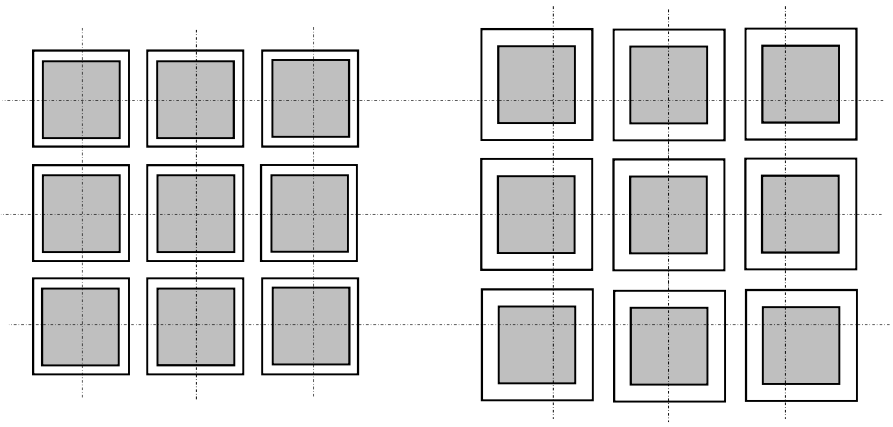
別添４－２図　格子内のりと中性子実効増倍率の関係

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添４－１図補足　バスケット格子内の燃料配置の概念図



別添４－２図補足　バスケット格子内のりの概念図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添５

バスケット及び使用済燃料集合体の変形の影響について

使用済燃料貯蔵施設においては,金属キャスク内部は乾燥された状態であり,密封性能を有した多重の蓋を有しており，内部に水が入ることはない。

別添５－１図（ロ)-第A.41表に示すようにHDP-69B型の核燃料輸送物設計変更承認申請書[1)]において，９ｍ水平落下試験時の衝撃力に対するバスケットの変形量は□mmと評価されている。バスケット格子内のり（公称寸法153mm）と使用済燃料集合体の間隙は10mm程度あり,別添４に示す金属キャスク内部が乾燥状態である場合のバスケット格子内の燃料偏向配置よる実効増倍率の評価結果によれば，この程度の使用済燃料集合体の移動量では実効増倍率に殆ど影響しない。

また，乾燥状態で使用済燃料集合体が変形した場合の保守的な評価として,燃料棒同士が接した場合（燃料棒ピッチ最小）とバスケット格子内で最大限均一に広がった場合（燃料棒ピッチ均一拡大）の実効増倍率が評価されており,燃料棒ピッチ最小時0.41372，燃料棒ピッチ均一拡大時0.41305と殆ど影響しない（別添５－１図（ロ)-第E.4表）。

以上より，使用済燃料貯蔵施設におけるバスケット及び使用済燃料集合体の変形は，臨界評価において有意な影響を与えることはない。

参考文献

1）核燃料輸送物設計変更承認申請書（HDP-69B 型核燃料輸送物），東京電力ホールディングス株式会社（平成30年7月20日）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(ロ)－第A.41表　バスケットの変位計算条件及び計算結果

評価位置	バスケットプレートの支持幅：ℓ (mm)	バスケットプレート材料の縦弾性係数：E (MPa)	単位長さあたりの断面二次モーメント：I (mm^3)	バスケットプレート材料の設計降伏点：S_y (MPa)	バスケットプレートの板厚：t (mm)	単位長さあたりの塑性断面係数：Z_p (mm^2)	変形量：δ (mm)
バスケットプレート	[redacted]	200000	[redacted]	204	[redacted]		

[redacted]

燃料棒ピッチ＝最小(燃料棒直径)　燃料棒ピッチ＝変化なし　燃料棒ピッチ＝均一拡大

(ロ)－第E.1図　燃料モデル（ピッチ変化部位）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(ロ)－第Ｅ．４表　臨界計算結果

項　　目	keff	σ	keff＋3σ
燃料棒ピッチ最小	0.41372	0.00030	0.41462
燃料棒ピッチ変化なし	0.41363	0.00036	0.41471
燃料棒ピッチ均一拡大	0.41305	0.00029	0.41392

別添５－１図　核燃料輸送物設計変更承認書[3)]の抜粋

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添６

冠水状態の水密度について

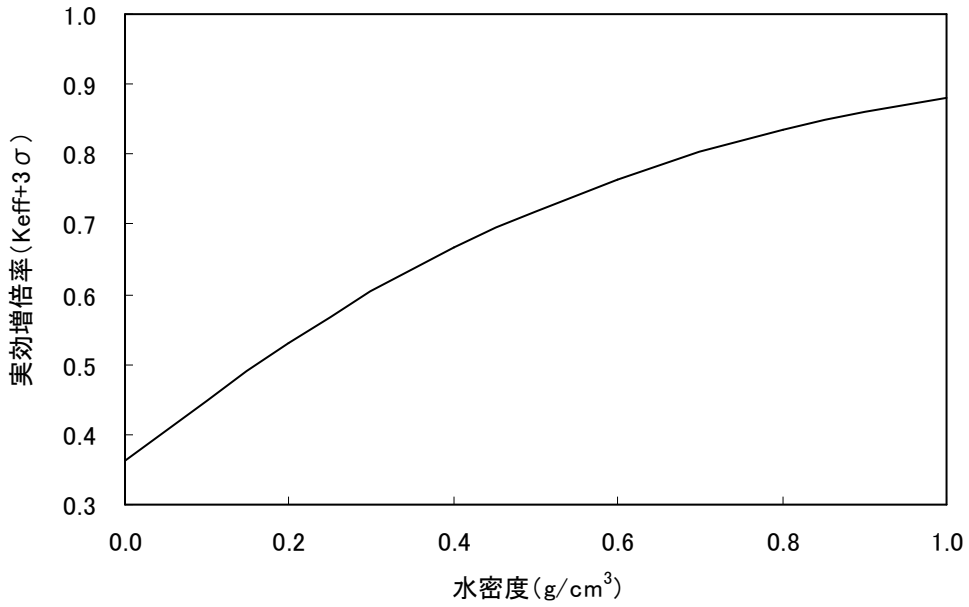
別添６－１図に水密度と中性子実効増倍率の関係を示す。別添６－１図に示すように，乾燥状態（0.0g/cm^3）から冠水状態（1.0g/cm^3）まで，中性子実効増倍率は単調増加であり，冠水状態が臨界評価上最も厳しい条件である。

原子力発電所における燃料貯蔵設備においては，中性子吸収材を使用していない新燃料貯蔵庫は，水密度 1.0g/cm^3 未満が最適減速条件に，また，中性子吸収材を使用している使用済燃料貯蔵ラックは，水密度最大の 1.0g/cm^3 が最適減速条件になっている例がある。

バスケットに中性子吸収材を使用している金属キャスクは，使用済燃料貯蔵ラックと同じ傾向にあり，水密度 1.0g/cm^3 が臨界評価上最も厳しい条件となるのは，金属キャスク特有の傾向ではない。

原子力発電所における燃料貯蔵設備の具体的な例として，第４回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(平成 25 年 10 月 7 日)において，３号機燃料貯蔵ラックに対する中性子実効増倍率の検討結果が示されている。別添６－２図は，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）のバスケットと同じように，中性子吸収材である天然ボロンを使用している板材を格子上に組んだもので，中性子吸収材の影響で減速不足状態のために，水密度最大の 1.0g/cm^3 が最適減速条件になっている。一方で，別添６－３図は，中性子吸収材を使用していないタイプであり，水密度 1.0g/cm^3 未満が最適減速条件となっている。

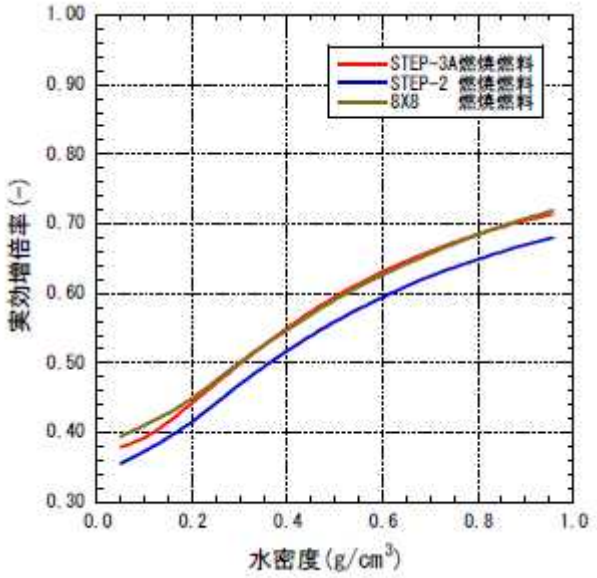
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

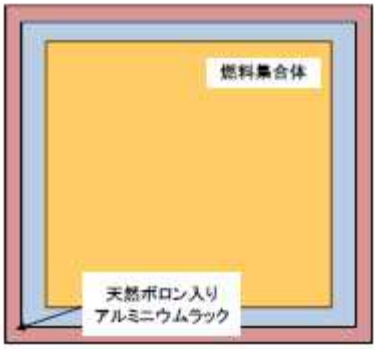


別添６－１図　容器内の水密度と中性子実効増倍率の関係

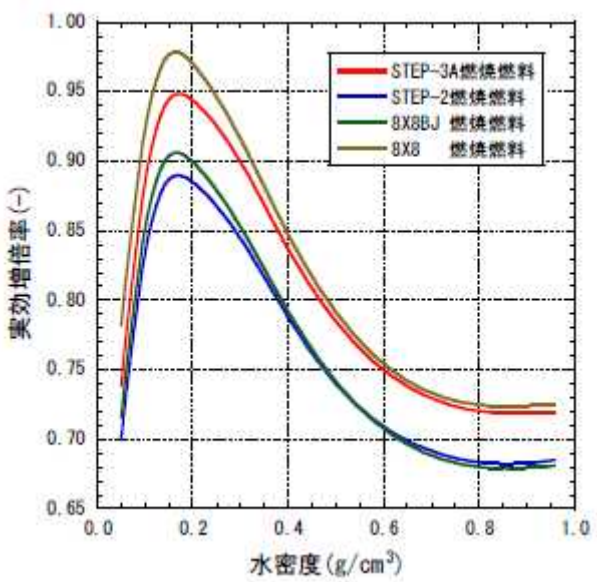
（ＢＷＲ大型キャスク（タイプ２））

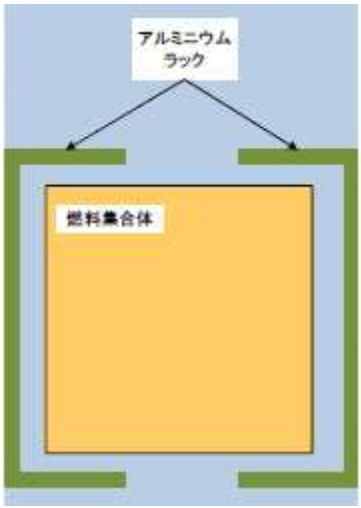
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社





別添６－２図　燃料貯蔵ラックの水密度と中性子実効増倍率の関係*
（天然ボロン入りアルミラックの例）





別添６－３図　燃料貯蔵ラックの水密度と中性子実効増倍率の関係*
（アルミニウムラックの例）

＊：第４回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（平成 25 年 10 月７日）　資料３　３号機使用済燃料貯蔵プール内の臨界の可能性について

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第４条　遮蔽等（金属キャスク）

＜目　次＞

１．設計方針
２．遮蔽設計

（別　添）
別添１　金属キャスクの遮蔽解析について
別添２　遮蔽解析における二次元輸送計算コードDOT3.5の妥当性について
別添３　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の遮蔽評価条件等の妥当性について
別添４　解析に使用した基本的なデータについて
別添５　二次元輸送計算コードで使用する断面積ライブラリについて

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，平常時において，直接線及びスカイシャイン線により公衆の受ける線量が「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」に定められている線量限度を超えないことはもとより，合理的に達成できる限り低く（実効線量で 50μSv/年以下）なるよう，金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋により，十分な放射線遮蔽を講ずる設計とする。

金属キャスクは，使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間における中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても十分な遮蔽性能を有する設計とする。

使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては，遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた当該使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう，契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを，記録により確認する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　遮蔽設計

(1)　遮蔽構造

金属キャスクの主要な構成材を第１表に示す。

金属キャスクは，遮蔽のために以下の設計上の配慮を行う。

ａ．金属キャスクは，ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。

ｂ．ガンマ線遮蔽材は，金属キャスク構造体(胴，外筒，蓋及び底板)を構成する炭素鋼等で構成する。

ｃ．中性子遮蔽材は，レジンで構成する。

(2)　遮蔽解析(別添１参照)

金属キャスクの遮蔽解析においては，以下に示す線源条件に基づき，金属キャスクの表面及び表面から１ｍの位置における線量当量率を求め，それぞれの基準値である２mSv/h 以下,100μSv/h 以下となることを確認する。

金属キャスクの遮蔽解析評価における保守性を第２表，不確かさの考慮を第３表，遮蔽解析フロー図を第１図，金属キャスクのモデル化の概要を第２図に示す。

ａ．線源条件

使用済燃料集合体の線源強度は，燃料型式，燃焼度，濃縮度，冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求める。

使用済燃料集合体の構造材については，照射期間，中性子束，冷却期間等を条件に放射化計算式を用いて求める。

使用済燃料集合体の線源強度計算手法を第４表に示す。

ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の遮蔽解析評価においては，収納する使用済燃料集合体の燃焼度が高いほど中性子照射や核分裂で放射性核種が生成されるため線源強度が高くなり，また，燃焼度が同じでも，初期濃縮度が低いほど同じ出力が得られるまでにより多くの中性子が照射され中性子源となる超ウラン元素の生成が増加するため，線源強度が最も高くなるのは新型８×８ジルコニウムライナ燃料となる。このため，遮蔽解析においては，ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)とＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の最大線量当量率を与える線源条

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

件は同一となる。

ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の線源強度を第５表に，キャスク毎の収納配置及び各収納配置における使用済燃料集合体の仕様を第６表に示す。

ｂ．金属キャスクの線量当量率評価方法

金属キャスクの線量当量率は，金属キャスクの実形状を軸方向断面形状に基づき,蓋部や底部の遮蔽体構造や使用済燃料集合体の軸方向領域に応じ,「ａ．線源条件」に示した線源強度に基づき，二次元輸送計算コード DOT3.5(DLC-23/CASK ライブラリ)を使用して求める。算出にあたっては,金属キャスクの構成材料による減衰等を考慮する。

金属キャスク表面から線量当量率の評価位置である１ｍの位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するため DOT3.5 の補助コードである SPACETRAN-Ⅲを用いる。(別添２参照)

燃料型式別の金属キャスクの線量当量率を第７表(1)，第７表(2)，第３図(1)，第３図(2)に示す。

ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の遮蔽解析評価においては，いずれの部位においても高燃焼度８×８燃料全数収納時よりも新型８×８ジルコニウムライナ燃料全数収納時の線量当量率が高いことから，ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の遮蔽評価としては,新型８×８ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合が最も厳しくなる。このため，遮蔽解析においては，ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)とＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の線量当量率評価条件は同一となる。(別添３参照)

(3)　遮蔽解析結果

金属キャスクの遮蔽解析結果を第８表に示す。

遮蔽解析結果から，金属キャスクの表面及び表面から１ｍの位置における線量当量率は，それぞれの基準値である２mSv/h 以下，100μSv/h 以下を満足している。

なお，金属キャスクの遮蔽解析に使用する断面積ライブラリとして

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

は，実績のある DLC-23/CASK を用いて評価しているが，別添５に断面積ライブラリの違いによる評価を示す。

第１表　金属キャスクの主な構成材※

	ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２） ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）
胴，底板	炭素鋼
中性子遮蔽材	レジン
伝熱フィン	炭素鋼/銅
外筒	炭素鋼
一次蓋	炭素鋼
二次蓋	炭素鋼
バスケット	ボロン添加ステンレス鋼 アルミニウム合金

※：解析に使用した基本的なデータについては，別添４参照。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第２表　遮蔽解析評価の保守性

項目	内容
使用済燃料集合体の軸方向位置	・貯蔵時は使用済燃料集合体が底に接し，蓋－使用済燃料集合体間は接していないが，頭部評価モデルにおいて使用済燃料集合体が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施。
モデル化	・チャンネルボックス：放射化線源強度のみ考慮し，構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定。 ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは，バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とした。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では，レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとしている。伝熱フィンが占有する面積を考慮して，中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また，伝熱フィンの密度をゼロとし，ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している。 ・トラニオン部：トラニオン有モデルとトラニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め，トラニオン有モデルが大きい場合は，本体モデルの計算結果にその差分を加算するが，トラニオン有モデルが小さい場合は，その低下は無視している。
線源強度	・中央部に最高燃焼度[注 1)]の使用済燃料集合体，外周部に平均燃焼度[注 2)]の使用済燃料集合体を配置している。 ・軸方向燃焼度分布を包絡する燃焼度分布を仮定しており，実際を上回る線源強度で評価。 ・収納燃料集合体全数が線源強度は貯蔵開始時(収納物最短冷却期間)と仮定。
劣化評価	・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて，加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており，中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。

注 1)：金属キャスクに収納可能な使用済燃料集合体の燃焼度の上限。
注 2)：金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃焼度の平均値の上限。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第３表　遮蔽解析評価の不確かさの考慮

項目	内容
寸法公差	・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが，各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法／公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮。
材料密度	・ばらつきを考慮して，最小密度を使用して原子個数密度を評価。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第４表　ＢＷＲ使用済燃料集合体の線源強度計算手法

評価内容	評価方法	評価条件 ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２） ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）
燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃焼計算コードORIGEN２を用い，ガンマ線及び中性子線源強度を計算。使用済燃料集合体は，中央部に最高燃焼度の燃料，外周部に平均燃焼度の燃料を配置し，軸方向に階段状の燃焼度分布を持つため，これを考慮。また，中性子については実効増倍率を考慮。	燃料型式：新型８×８ジルコニウムライナ燃料[注)] 最高燃焼度：40,000[MWd/MTU] 平均燃焼度：34,000[MWd/MTU] 比出力：25.3[MW/MTU] 濃縮度：2.88[%](最小値) 冷却期間：18[年] ウラン重量：177[kg] ORIGEN2 ﾗｲﾌﾞﾗﾘ：BWR-U
燃料構造材及びチャンネルボックス構造材放射化によるガンマ線	構造材の ^{59}Co 含有量に従い，放射化計算式に基づき ^{59}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。	放射化計算式 $A=N_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1-\exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A ：放射化核種（^{60}Co）の放射能[Bq] N_0 ：ﾀｰｹﾞｯﾄ核種（^{59}Co）の個数[atoms] Σ ：2,200m/s の中性子による ^{59}Co 反応断面積[cm^2] Φ ：炉内照射熱中性子束[$n/(cm^2 \cdot s)$] Λ ：^{60}Co の崩壊定数 T_1 ：照射期間[日] T_2 ：冷却期間[日]

注)：ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の遮蔽解析評価において，線源強度が最も高くなるのは新型８×８ジルコニウムライナ燃料となるため，遮蔽解析においては，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）とＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の線量当量率評価条件は同一となる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第５表　ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の線源強度

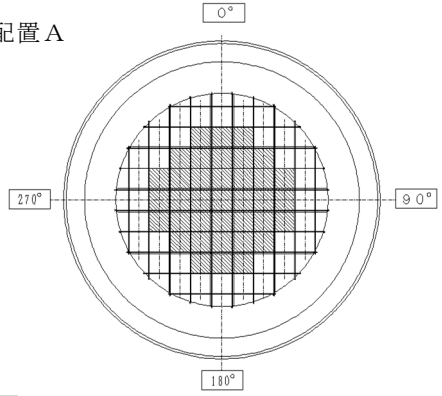
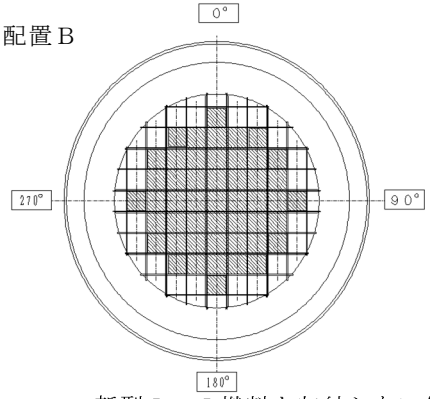
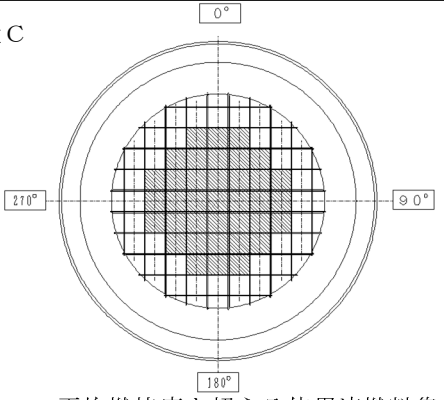
（キャスク１基あたり）

使用済燃料の種類		新型８×８ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度８×８燃料	新型８×８ジルコニウムライナ燃料と新型８×８燃料	新型８×８燃料
線源強度 注)	燃料有効部のガンマ線の線源強度(photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	7.1×10^{16}	5.8×10^{16}
	構造材放射化ガンマ線の線源強度(^{60}Co：Bq)	1.3×10^{14}	1.3×10^{14}	5.5×10^{13}	4.6×10^{13}
	全中性子源強度(n/s)	1.4×10^{10}	1.0×10^{10}	7.5×10^{9}	2.9×10^{9}
収納配置(第６表)		配置Ａ	配置Ａ	配置Ｂ	配置Ｃ

注)：収納配置の範囲内で，最大の燃焼度の使用済燃料集合体を収納した場合の値。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第６表　使用済燃料集合体の収納条件

キャスクタイプ	タイプ2	タイプ2A		
収納する使用済燃料集合体	①新型８×８ジルコニウムライナ燃料	①新型8×8ジルコニウムライナ燃料 ，　②高燃焼度8×8燃料 ，　③新型8×8燃料		
収納配置	①のみ収納	①のみ収納， ②のみ収納， ①及び②を収納	①及び③を収納	③のみ収納
	配置Ａ  ：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲		配置Ｂ  ：新型８×８燃料を収納しない範囲	配置Ｃ  ：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲
収納物平均燃焼度	34,000MWd/t	34,000MWd/t		26,000MWd/t
収納物最高燃焼度	40,000MWd/t	34,000MWd/t		28,500MWd/t
冷却期間	18 年以上	24 年以上		24 年以上
最大崩壊熱量	12.1kW / 基	10.9kW / 基		8.0kW / 基
収納配置と燃料仕様の選定の考え方	燃焼度及び冷却期間を制限し，新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の最大崩壊熱量と線源強度を超えないような高燃焼度8×8燃料を収納する。 新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料及び高燃焼度8×8燃料の燃料被覆管制限温度は同一であることから，従来の新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の評価結果に包絡され，中央部に最高燃焼度燃料，外周部に平均燃焼度燃料を配置する。	燃焼度及び冷却期間を制限し，収納配置を管理し，配置Cよりも高い燃焼度の新型8×8燃料の燃料被覆管温度の制限値を満足するように，新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料と新型8×8燃料を収納する。 新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の最高燃焼度を 34,000MWd/t 以下に制限するとともに，中央部には新型8×8燃料を収納しない配置としている。		燃焼度及び冷却期間を制限し，新型8×8燃料をすべて収納しても，燃料被覆管温度の制限値を満足するような新型8×8燃料を収納する。燃料被覆管の温度を安全側に評価するように，平均燃焼度を超える燃料を中央部に配置している。燃焼度及び冷却期間の条件から配置Aの線量当量率を超えることはない。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第７表(1)　新型８×８ジルコニウムライナ燃料収納時の線量当量率

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

（単位：μSv/h）

評価点			頭部			側部中央		底部			
			軸方向	径方向	径方向（トラニオン部）			径方向	径方向（トラニオン部）	軸方向	
			①	③a	③b	⑤		⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	7.3	0.5	0.5	11.5	95.8	1.3	24.2	9.0	3.0
		構造材放射化	692.8	132.5	110.4	153.9	0.1	12.8	63.2	139.9	19.1
		二次ガンマ線	0.5	2.0	2.1	4.1	26.9	4.6	7.8	2.5	2.3
	中性子		118.9	253.9	505.2	7.3	72.7	706.9	1012.5	51.5	265.9
	合計		819.5	388.9	618.2	176.8	195.5	725.6	1107.7	202.9	290.3
評価点			②	④a	④b	⑥		⑧a	⑧b	⑩	
表面から１ｍの位置	ガンマ線	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5		21.2	21.2	3.9	
		構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7		8.1	8.1	59.3	
		二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5		5.3	5.3	0.9	
	中性子		28.7	17.3	20.9	26.2		13.4	24.5	16.2	
	合計		75.0	57.3	60.9	77.9		48.0	59.1	80.3	

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第７表(2)　高燃焼度８×８燃料収納時の線量当量率

（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

（単位：μSv/h）

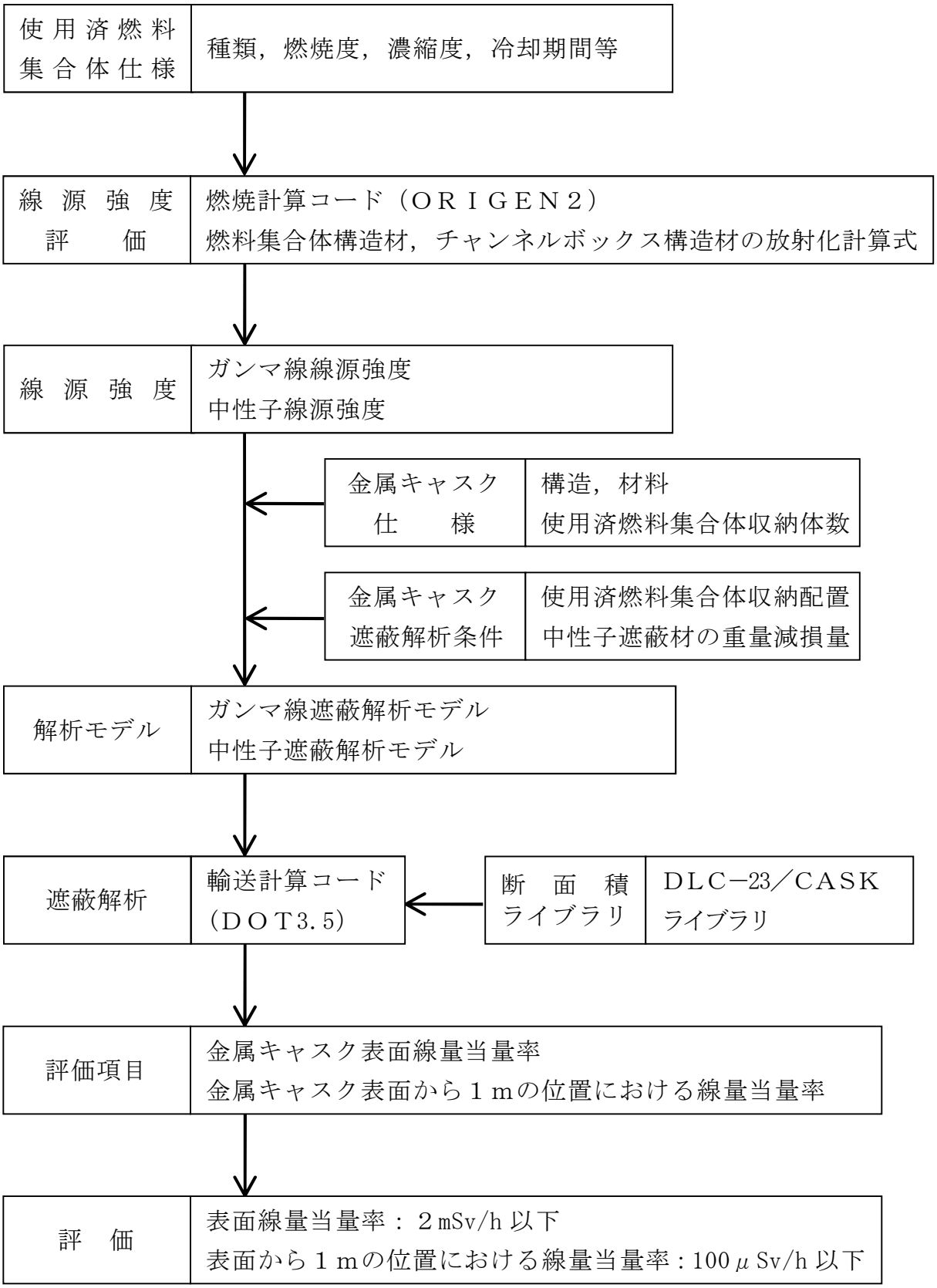
評価点			頭部			側部中央		底部			
			軸方向	径方向	径方向(トラニオン部)			径方向	径方向(トラニオン部)	軸方向	
			①	③a	③b	⑤		⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	7.2	0.5	0.5	10.8	93.2	0.9	17.9	6.7	2.2
		構造材放射化	678.6	131.0	108.9	152.5	0.1	12.6	62.0	137.2	18.8
		二次ガンマ線	0.4	1.6	1.7	3.3	19.7	2.5	4.3	1.3	1.2
	中性子		95.3	204.2	406.9	5.9	53.6	365.6	532.5	24.3	137.1
	合計		781.5	337.3	518.0	172.5	166.6	381.6	616.7	169.5	159.3
評価点			②	④a	④b	⑥		⑧a	⑧b	⑩	
表面から１ｍの位置	ガンマ線	燃料有効部	0.5	12.7	12.7	38.2		18.7	18.7	2.8	
		構造材放射化	44.6	23.7	23.7	2.0		8.0	8.0	58.5	
		二次ガンマ線	0.1	2.5	2.5	7.2		3.5	3.5	0.5	
	中性子		23.0	13.7	16.6	18.7		8.5	14.4	7.8	
	合計		68.2	52.6	55.5	66.1		38.7	44.6	69.6	

第８表　金属キャスクの遮蔽解析結果

		ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２） ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）[注)]
表面（μＳｖ／ｈ）	ガンマ線	95.2
	中性子	1012.5
	合　計	1107.7
	基準値	2000
表面から１ｍの位置（μＳｖ／ｈ）	ガンマ線	64.1
	中性子	16.2
	合　計	80.3
	基準値	100

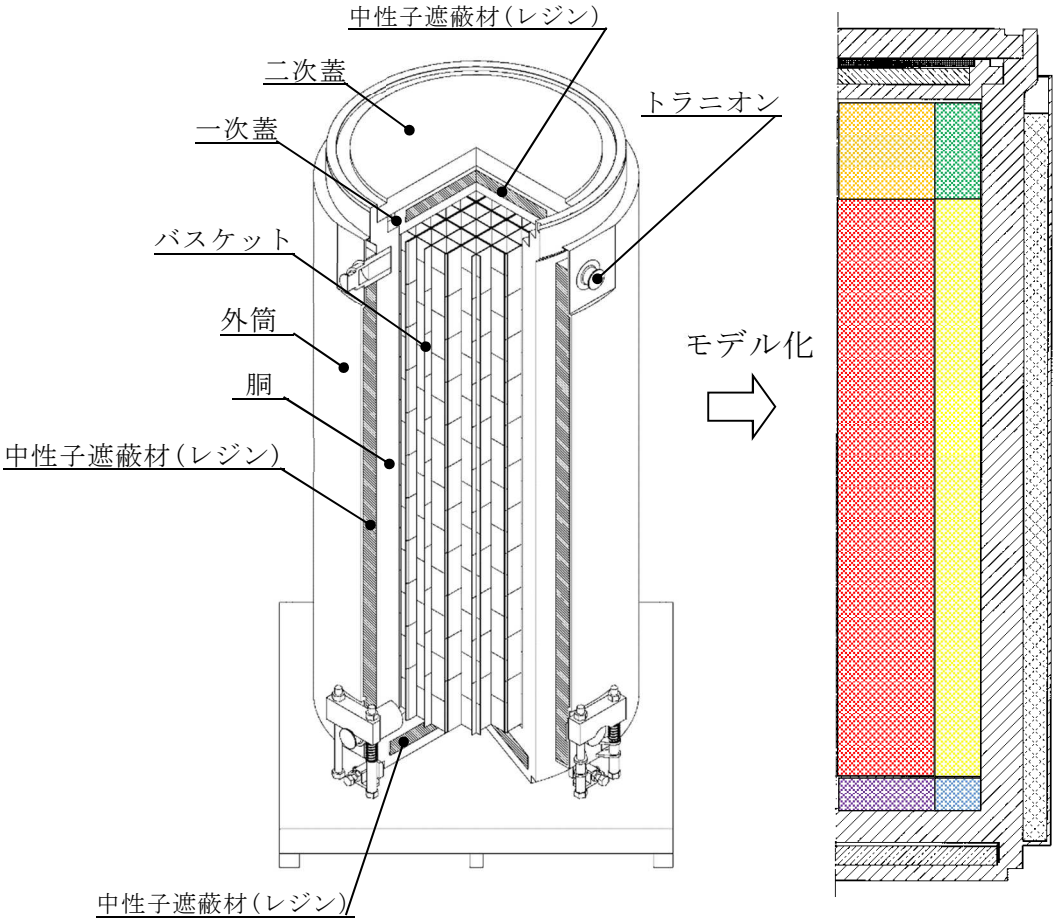
注)：ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）は，構造及び遮蔽評価条件がＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）と同一。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第１図　金属キャスクの遮蔽解析フロー図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

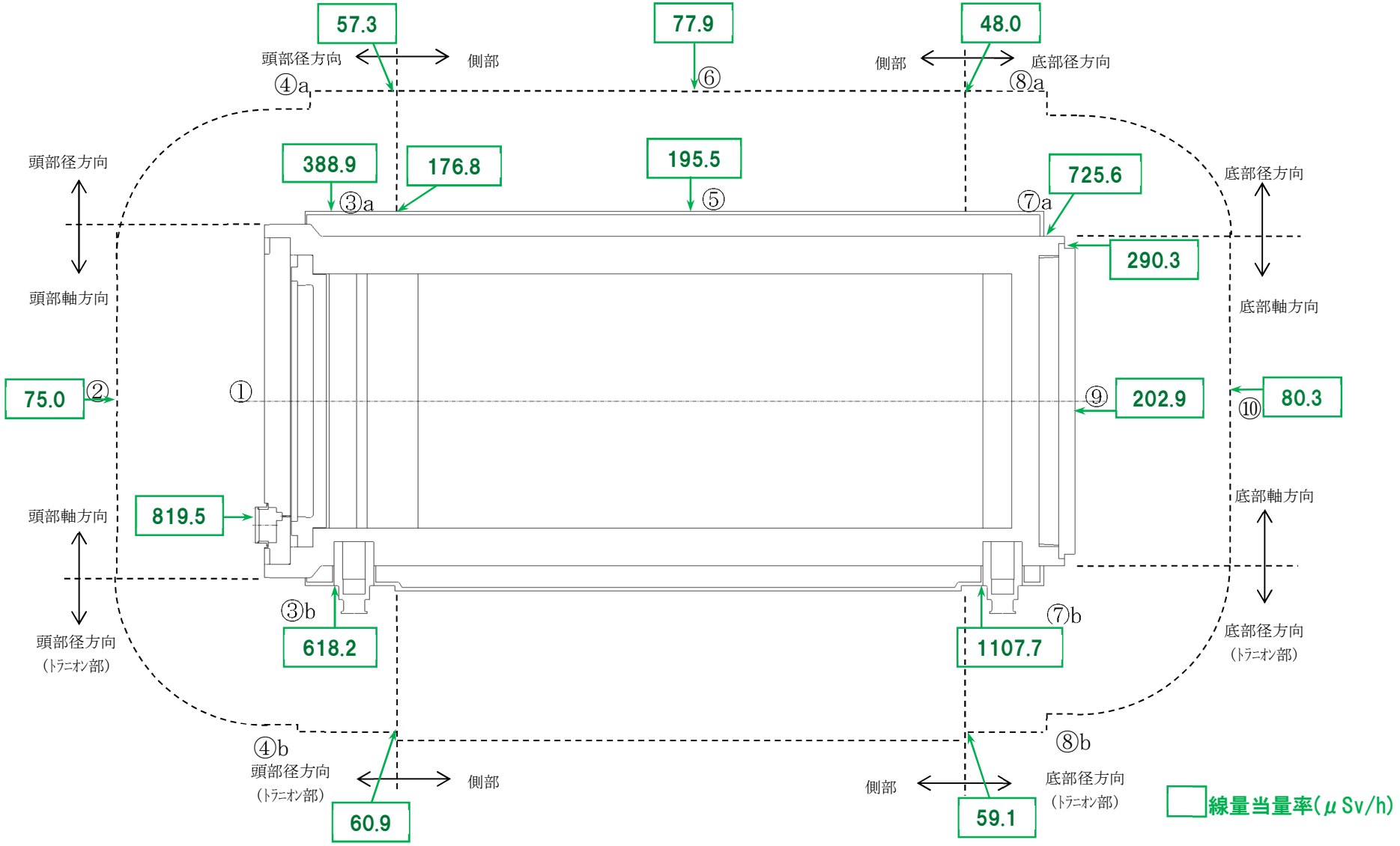


第２図　金属キャスクのモデル化の概要

（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

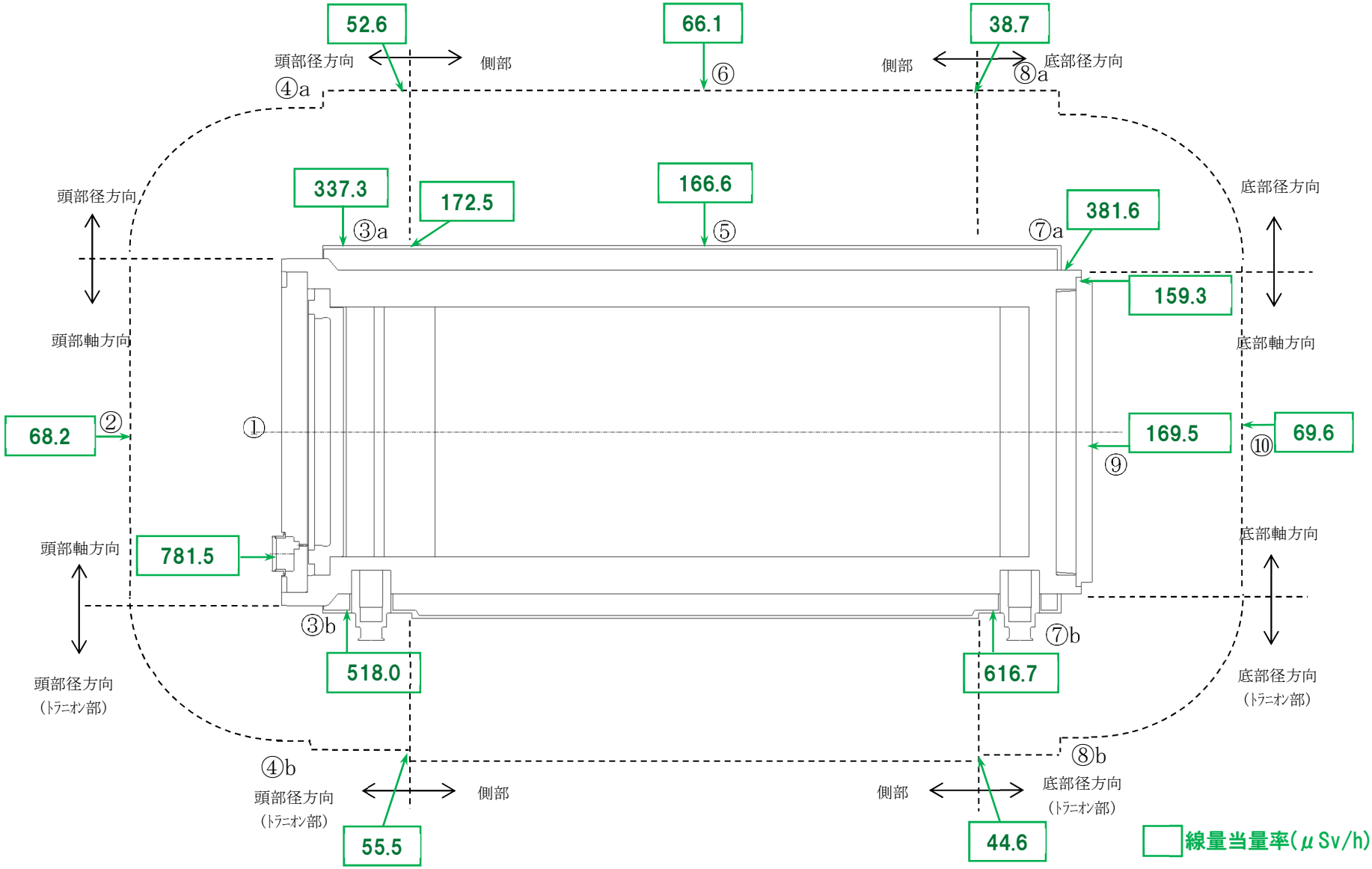
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第３図(1)　新型８×８ジルコニウムライナ燃料収納時の線量当量率評価位置
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第３図(2)　高燃焼度８×８燃料収納時の線量当量率評価位置(ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

別添１

金属キャスクの遮蔽解析について

1.　使用済燃料集合体の線源強度について

使用済燃料集合体の線源強度は,「燃料有効部からのガンマ線及び中性子」,「使用済燃料集合体の構造材からの放射化ガンマ線」,「ＢＷＲ燃料集合体におけるチャンネルボックスからの構造材ガンマ線」に分けられる。

遮蔽計算においては，別添１－１図に示すとおり，使用済燃料集合体を領域分けして，領域ごとに線源強度を計算する。

ガンマ線及び中性子の線源強度(キャスク１基あたり)を別添１－１表に示す。また，燃料有効部のガンマ線のエネルギごとの線源強度及び中性子スペクトルを別添１－２表，別添１－３表に示す。

2.　遮蔽解析のモデル化について

遮蔽機能は，従来の輸送容器等で実績のある二次元輸送計算コードDOT3.5により，R-Z 体系の円筒型モデルで解析している。そのため，周方向に配置されたバスケットやトラニオンなどは，構造上の特徴を考慮して，均質化あるいは線束引継ぎによって評価している。

(1)　燃料領域(添付１参照)

燃料領域(線源領域)については，使用済燃料集合体とバスケットを均質化したモデルとしている。別添１－２図に示すとおり，使用済燃料集合体は中心に最高燃焼度燃料を，外周部に平均燃焼度燃料を収納するため，それぞれの占有領域と等価な面積を持つ二重円(円筒)にモデル化し，線源領域としている。

(2)　バスケット外周領域

燃料領域より外側のバスケット部は，板材を組み合わせる構造であることから，バスケット最外周板厚と同一の円環としてモデル化している。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも，円環としてモデル化したバスケットの物量の方が少なく，遮蔽体としては安全側である。(別添１－２図参照)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　中性子遮蔽体領域

伝熱フィンのような小さなものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では，レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとし，伝熱フィンが占有する面積を考慮して，中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また，伝熱フィンの密度をゼロとしガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している。(別添１－４表参照)

伝熱フィンをモデル化した場合に，中性子とガンマ線の合計最大値は，ガンマ線の寄与が大きいため，伝熱フィン部よりもレジン部で線量当量率が大きくなっており，中性子は，伝熱フィン部で最大となっている。線量当量率が過小評価とならないことを確認している。(別添１－３図(1)，別添１－３図(2)参照)

(4)　トラニオン部の評価手法

トラニオンのような一部に大きなものが配置された場合には，実形状を模擬したトラニオンを別途モデル化して評価している。

トラニオンを無視した本体モデル(トラニオン無し方向モデル)にて得られた線束を別途モデル化したトラニオンR-Z軸対称モデルの境界線源として評価する。概略図を別添１－４図に示す。トラニオン部は，トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及び本体の一部を含めてモデル化し，トラニオンモデルの底面で線束の引継ぎを行っている。

トラニオン部の線量当量率は，トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの計算結果より線種ごとの計算結果の差を求め，本体モデルの計算結果にその差異を考慮して評価する。別添１－５図(1)～別添１－５図(4)に線量当量率分布を示す。なお，トラニオンによる線量当量率の増加は，別添１－５図(5)に示すように，主にトラニオン周囲で生じており，距離が離れるにしたがって，その影響は減衰するため，表面から１ｍの位置における最大線量当量率を示すのは側部中央部となる。なお，本体モデルは，キャスク中央付近で二分割して評価しており，側部中央部の線量当量率には大きな方の値を採用する。（添付２参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3.　貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について

金属キャスクの貯蔵期間中に受ける放射線の照射量はわずかであり，遮蔽材の特性を変化させることはない。

レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて，加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており，中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。

4.　遮蔽解析結果について

二次元輸送計算コード DOT3.5 を使用して求めた金属キャスク表面及び表面から１ｍの位置における線量当量率を別添１－５表に，評価点ごとの最大線量当量率を与える位置を別添１－６図に示す。（添付３参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添１－１表　ガンマ線及び中性子の線源強度

（キャスク１基あたり）

	ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２) ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)[注)]
燃料有効部のガンマ線の線源強度(photons/s)	8.9×10^{16}
構造材放射化ガンマ線の線源強度(^{60}Co：Bq)	1.3×10^{14}
全中性子源強度(ｎ/s)	1.4×10^{10}

注)：ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)は，遮蔽評価条件がＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)と同一。

別添１－２表　燃料有効部のガンマ線のエネルギごとの線源強度
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

（１基当たり）

エネルギ群数	平均エネルギ(MeV)	線源強度(s^{-1})
1	0.01	
2	0.025	
3	0.0375	
4	0.0575	
5	0.085	
6	0.125	
7	0.225	
8	0.375	
9	0.575	
10	0.850	
11	1.25	
12	1.75	
13	2.25	
14	2.75	
15	3.5	
16	5.0	
17	7.0	
18	9.5	
合計		8.949×10^{16}

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１－３表　中性子エネルギスペクトル

エネルギ群数	上限エネルギ(eV)	スペクトル[注)]
1	1.492×10^{7}	5.72×10^{-4}
2	1.220×10^{7}	2.02×10^{-3}
3	1.000×10^{7}	6.07×10^{-3}
4	8.180×10^{6}	2.00×10^{-2}
5	6.360×10^{6}	4.12×10^{-2}
6	4.960×10^{6}	5.27×10^{-2}
7	4.060×10^{6}	1.10×10^{-1}
8	3.010×10^{6}	8.74×10^{-2}
9	2.460×10^{6}	2.28×10^{-2}
10	2.350×10^{6}	1.15×10^{-1}
11	1.830×10^{6}	2.07×10^{-1}
12	1.110×10^{6}	1.89×10^{-1}
13	5.500×10^{5}	1.31×10^{-1}
14	1.110×10^{5}	1.59×10^{-2}
15	3.350×10^{3}	8.12×10^{-5}
16	5.830×10^{2}	5.89×10^{-6}
17	1.010×10^{2}	3.89×10^{-7}
18	2.900×10^{1}	5.53×10^{-8}
19	1.070×10^{1}	1.33×10^{-8}
20	3.060×10^{0}	1.88×10^{-9}
21	1.120×10^{0}	4.19×10^{-10}
22	4.140×10^{-1}	1.20×10^{-10}

注）^{239}Pu の核分裂スペクトルを DLC－23／CASK ライブラリの中性子 22 群構造に振り分けたものである。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１－４表　金属キャスク側部中央の合計線量当量率の最大値の比較
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

（単位：μＳｖ／ｈ）

			本手法 二次元モデル (R-Z)	伝熱フィンをモデル化した場合 二次元モデル(R-θ)	
			合計最大値	合計最大値	中性子最大値
表面	ガンマ線	燃料有効部	95.8		
		構造材放射化	0.1		
		二次ガンマ線	26.9		
	中　性　子		72.7		
	合　　計		195.5	188.0	
表面から１ｍの位置	ガンマ線	燃料有効部	40.5		
		構造材放射化	0.7		
		二次ガンマ線	10.5		
	中　性　子		26.2		
	合　　計		77.9	75.0	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

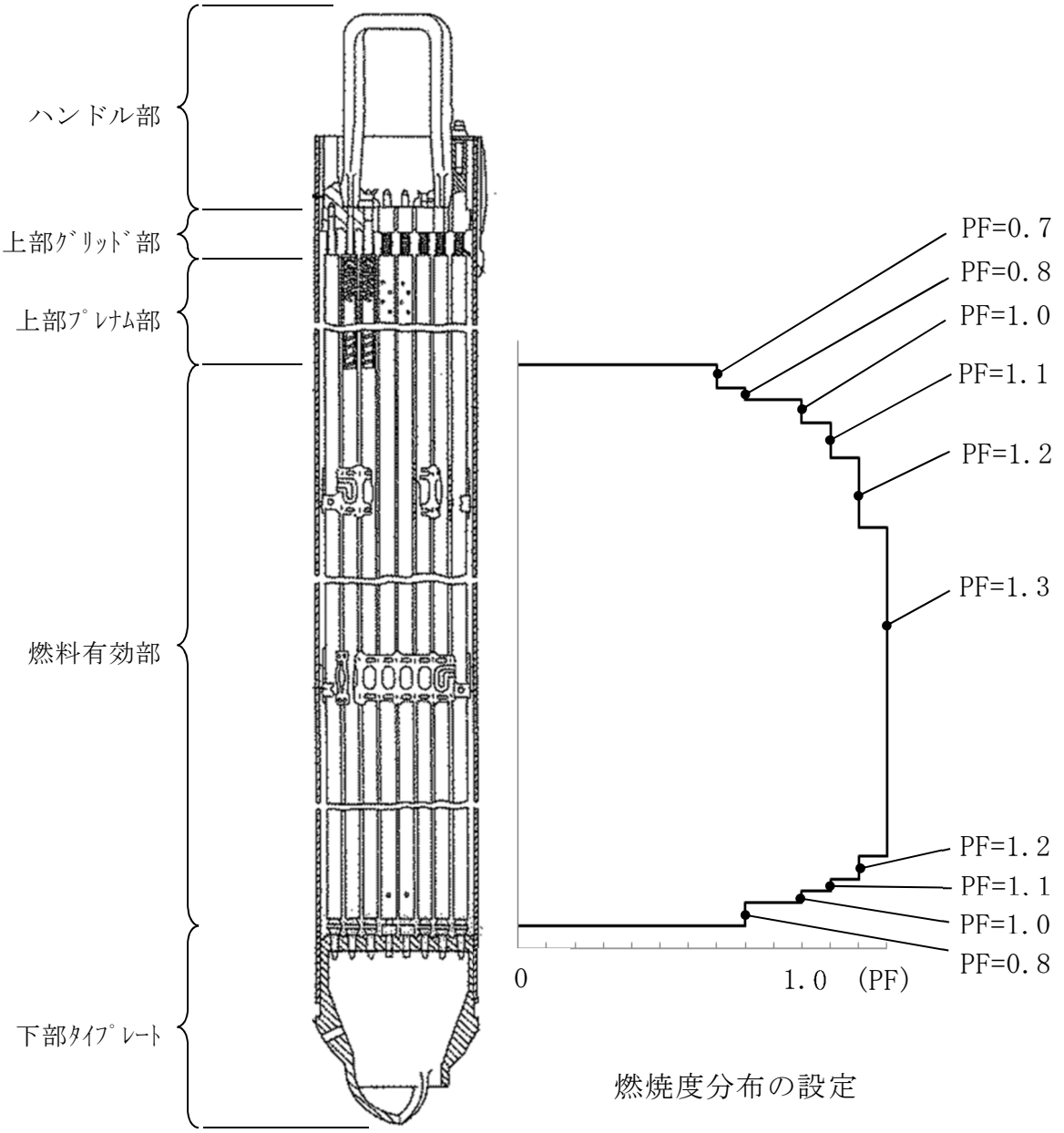
別添１－５表　貯蔵時の線量当量率（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

（単位：μSv/h）

評価点			頭部 軸方向	頭部 径方向	頭部 径方向（トラニオン部）	側部 中央	底部 径方向	底部 径方向（トラニオン部）	底部 軸方向
			①	③a	③b	⑤	⑦a	⑦b	⑨
表面	ガンマ線	燃料有効部	7.3	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0
表面	ガンマ線	構造材放射化	692.8	132.5	110.4	0.1	12.8	63.2	19.1
表面	ガンマ線	二次ガンマ線	0.5	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3
表面	中性子		118.9	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9
表面	合計		819.5	388.9	618.2	195.5	725.6	1107.7	290.3
評価点			②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から1mの位置	ガンマ線	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9
表面から1mの位置	ガンマ線	構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3
表面から1mの位置	ガンマ線	二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9
表面から1mの位置	中性子		28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2
表面から1mの位置	合計		75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	80.3

注1）　：最大値

注２）評価点の値は，「別添１－６図」中の同じ番号の矢印位置に対応。

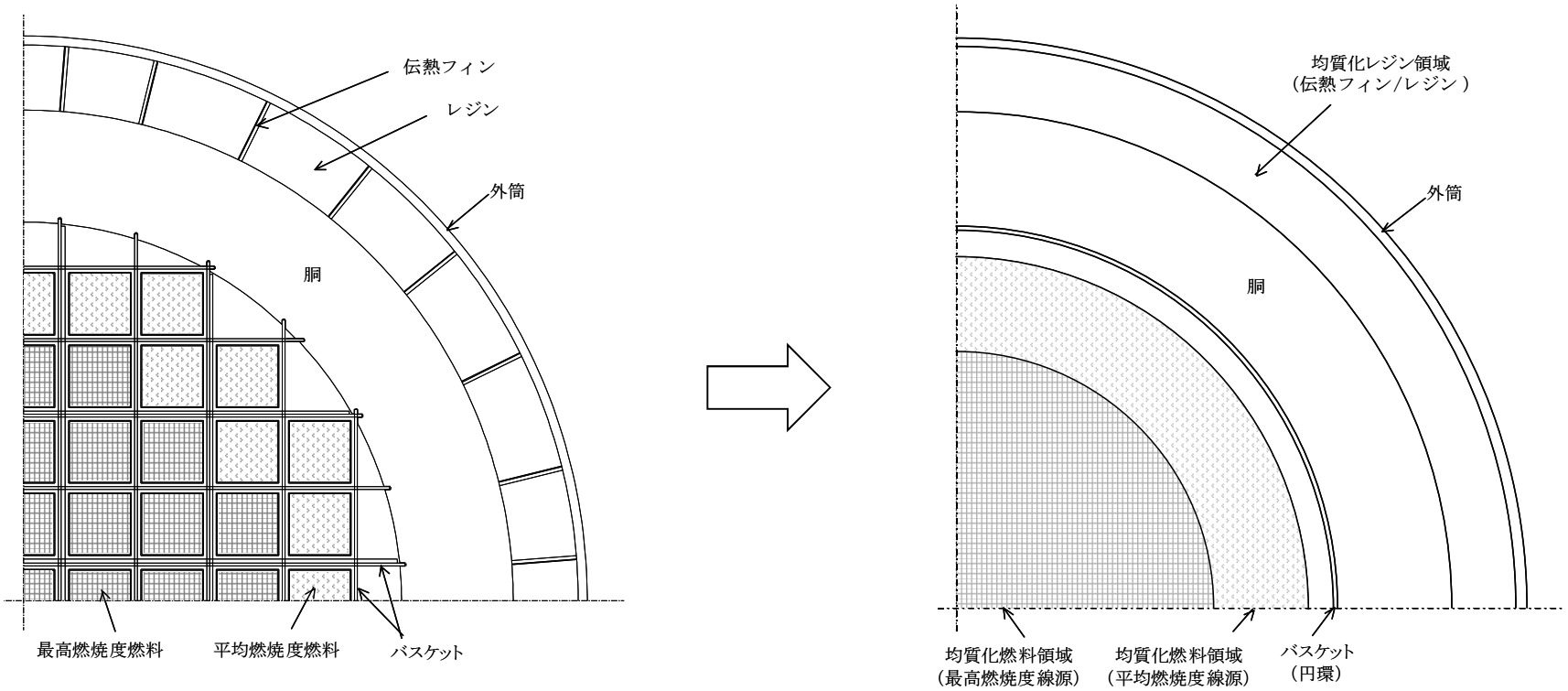


（新型８×８ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の場合）

別添１－１図　ＢＷＲ使用済燃料集合体の線源強度計算に係る領域分け

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

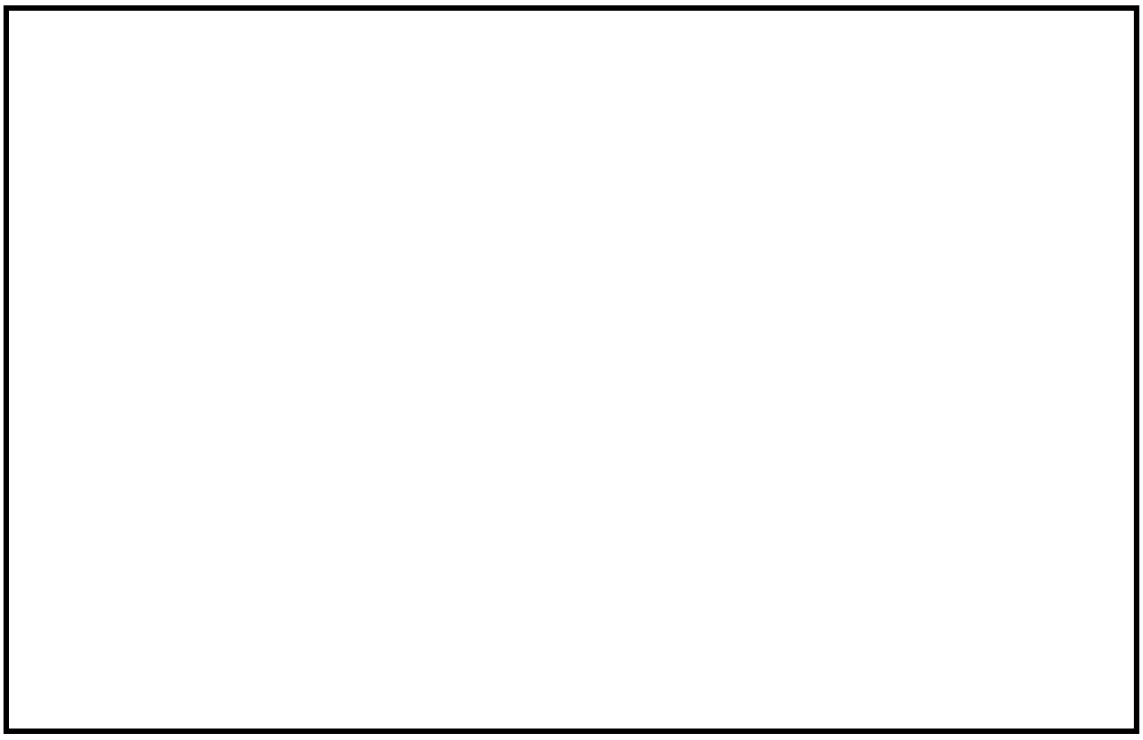


［実形状］　　［解析モデル］

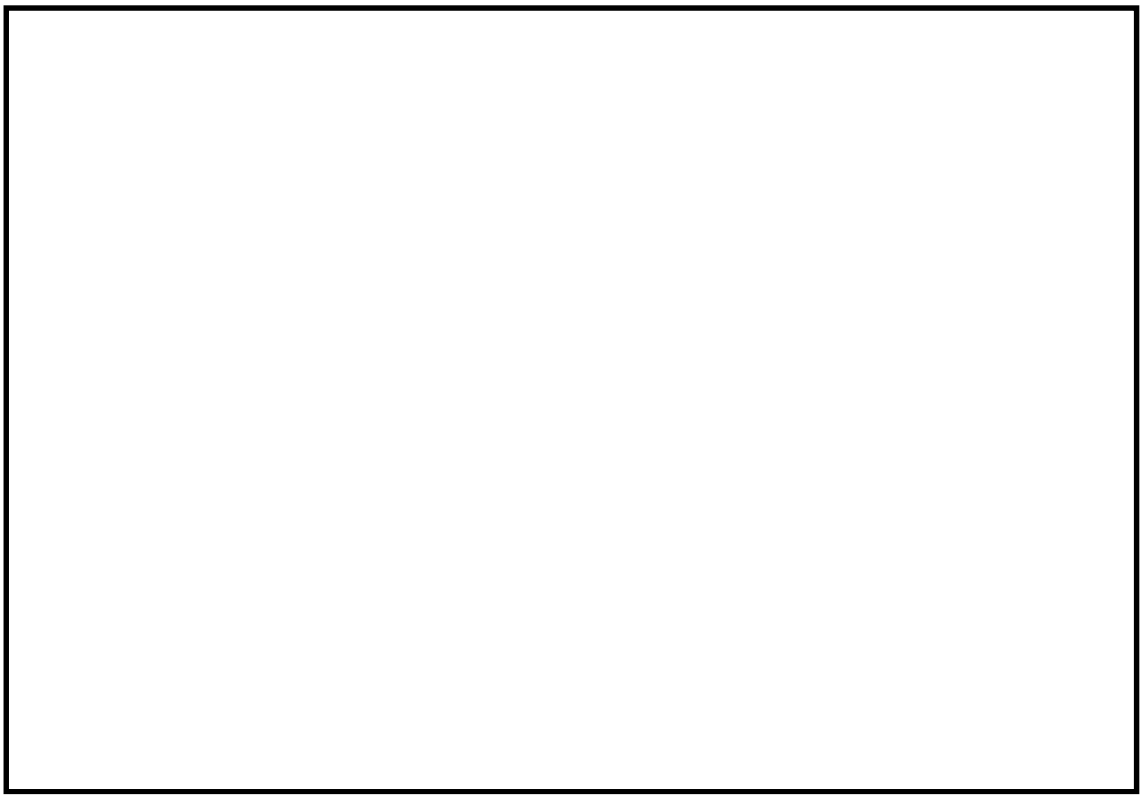
別添１－２図　キャスク中央断面の実形状と解析モデル

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

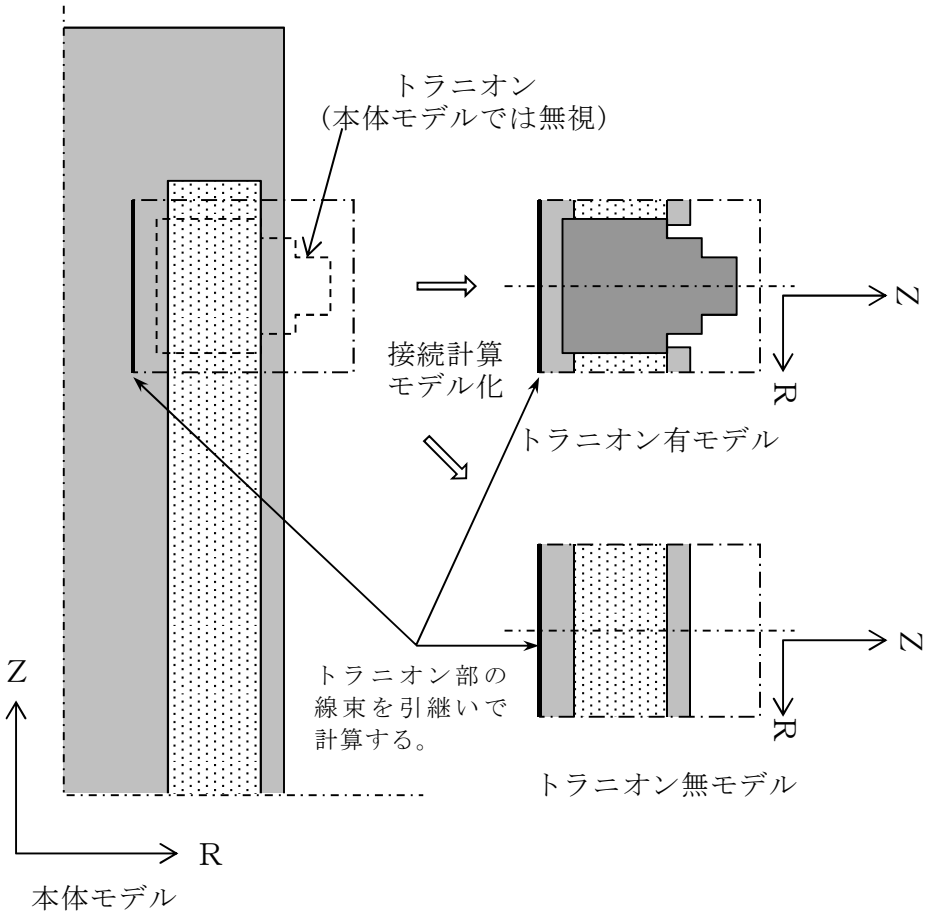


別添１－３図(1)　伝熱フィンをモデル化した二次元モデル(R-θ)
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）



別添１－３図(2)　二次元モデル(R-θ)によるフィン部の中性子線量当量率分布
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－４図　トラニオン部の線束引継ぎ計算の概略図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添１－５図(1)　表面における線量当量率分布(側部方向)
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添１－５図(2)　表面における線量当量率分布(トラニオン部近傍)
(ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

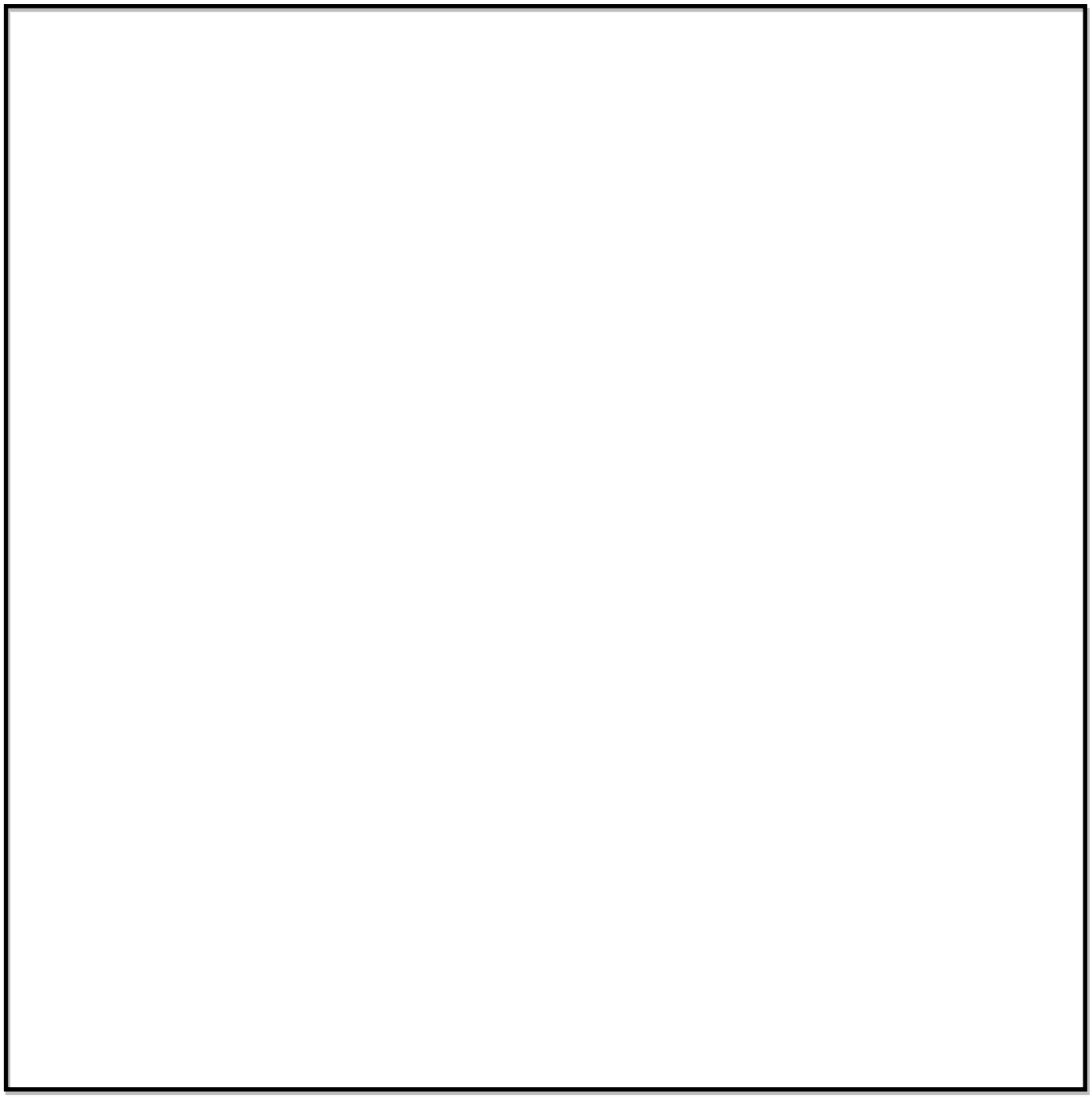
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添１－５図(3)　表面から１ｍの位置における線量当量率分布(側部方向)
（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



別添１－５図(4)　表面から１ｍの位置における線量当量率分布(トラニオン部近傍)
(ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

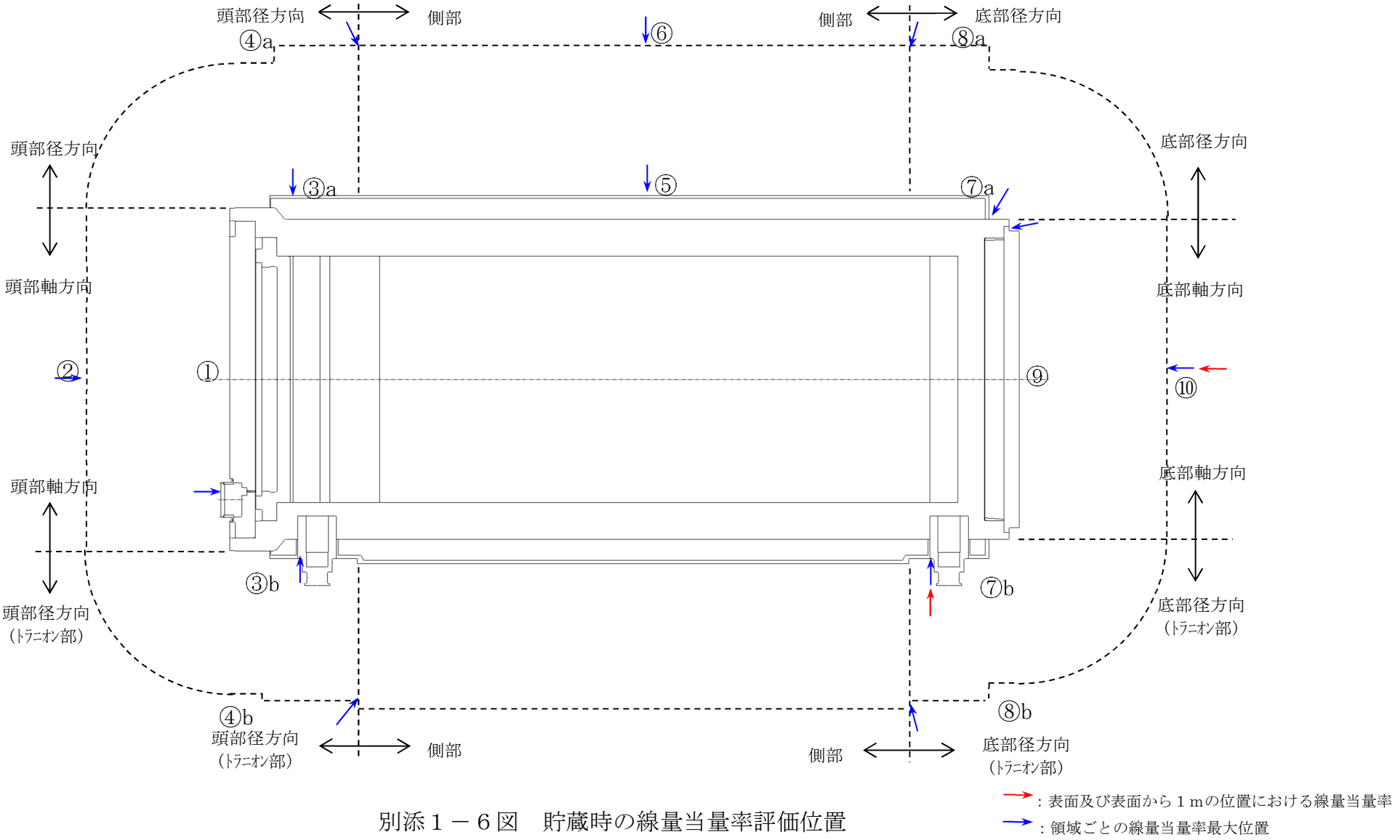
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添１－５図(5)　表面から１ｍの位置における線量当量率分布
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））
（ﾄﾗﾆｵﾝ近傍の評価結果を保守的にそのままｷｬｽｸ側部全体に重ね合わせたときの評価例）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－６図　貯蔵時の線量当量率評価位置

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

燃料領域の遮蔽解析の妥当性について

1.　金属キャスクの収納条件について

キャスクの収納条件では，中央部に平均燃焼度以上の使用済燃料集合体，外周部に平均燃焼度以下の使用済燃料集合体を配置している。この収納条件は，平均燃焼度を超える使用済燃料集合体を側部線量当量率への寄与の小さい中央部に収納することで遮蔽体としての効果を期待している。

また，各領域で最大の線源強度を設定していることから，線源強度として保守性を有している。（添付１－１図参照）

線量率として，外周部の平均燃焼度燃料集合体によって中央部の最高燃焼度燃料集合体の放射線が完全に遮蔽されることはないので，総線源強度として平均燃焼度の使用済燃料集合体をすべて収納した場合の線量当量率を上回る。なお，収納条件の制約から外周部に平均燃焼度以上の使用済燃料集合体を配置することはない。

2.　遮蔽解析における収納配置及び軸方向燃焼度分布の妥当性について

(1)　収納配置の妥当性について

金属キャスクの遮蔽設計では，中央部に最高燃焼度の使用済燃料集合体，外周部に平均燃焼度の使用済燃料集合体を配置しており，軸方向については，階段状の燃焼度分布を設定している。

解析においては，最高燃焼度及び平均燃焼度に対して，階段状の分布を掛け合わせて，軸方向の燃焼度分布を考慮している。軸方向領域(ノード)のそれぞれの燃焼度から，軸方向領域(ノード)ごとの線源強度を算出している。二次元輸送計算コード DOT3.5 の解析では，最高燃焼度及び平均燃焼度の使用済燃料集合体に対して，軸方向領域(ノード)ごとに計算した線源強度を入力値にして，収納条件を包絡するように，線源強度を設定している。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　軸方向燃焼度分布の妥当性について

収納配置及び軸方向燃焼度分布の妥当性について

軸方向燃焼度分布(ピーキングファクタ：PF)は，以下のようにして設定しており，対象とする使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を包絡できるようにしている。

a.　PF 設定の考え方

・キャスク設計においては，燃焼度の高い使用済燃料集合体の線源強度が高く，遮蔽性能の評価で重要であるため，燃焼度の高い取替燃料の PF を調査する。

なお，高いピーキングを示す比較的低い燃焼度の使用済燃料集合体も調査の対象とする。

・貯蔵対象となる使用済燃料集合体が装荷されたプラントの炉型毎に代表プラントを選定し，調査を実施した。

ｂ．　調査項目

・a で設定したプラントの取出燃料の燃焼度，PF を調査した。

・燃焼度の最も高い上位 10 体及びピーキングの最も高い上位 10 体の軸方向燃焼度を調査した。

ｃ．　PF の設定

・ａ及びｂで調査したデータから各プロットを線で結び，ピーキングを包絡するように PF を設定した。(添付１－２図参照)

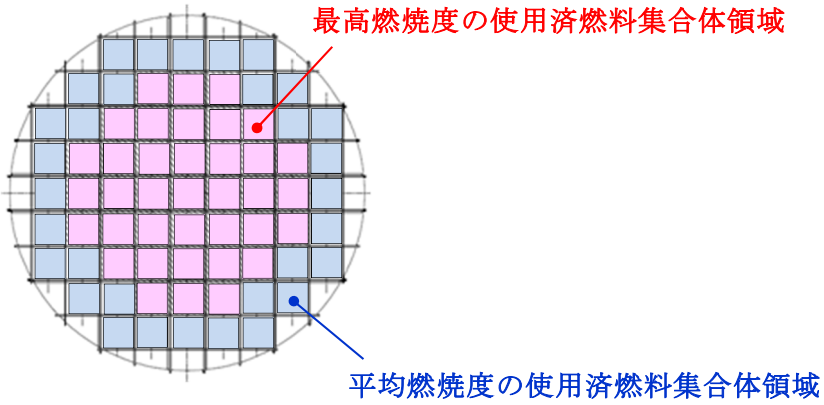
・ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)に収納する新型８×８ジルコニウムライナ燃料の軸方向領域ごとの線源強度の算定結果の例を添付１－１表に示す。

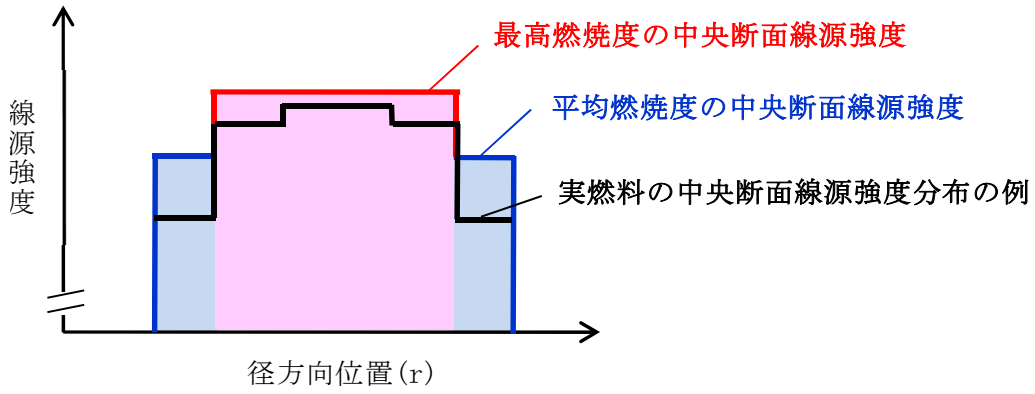
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付１－１表　新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の軸方向領域毎の線源強度

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

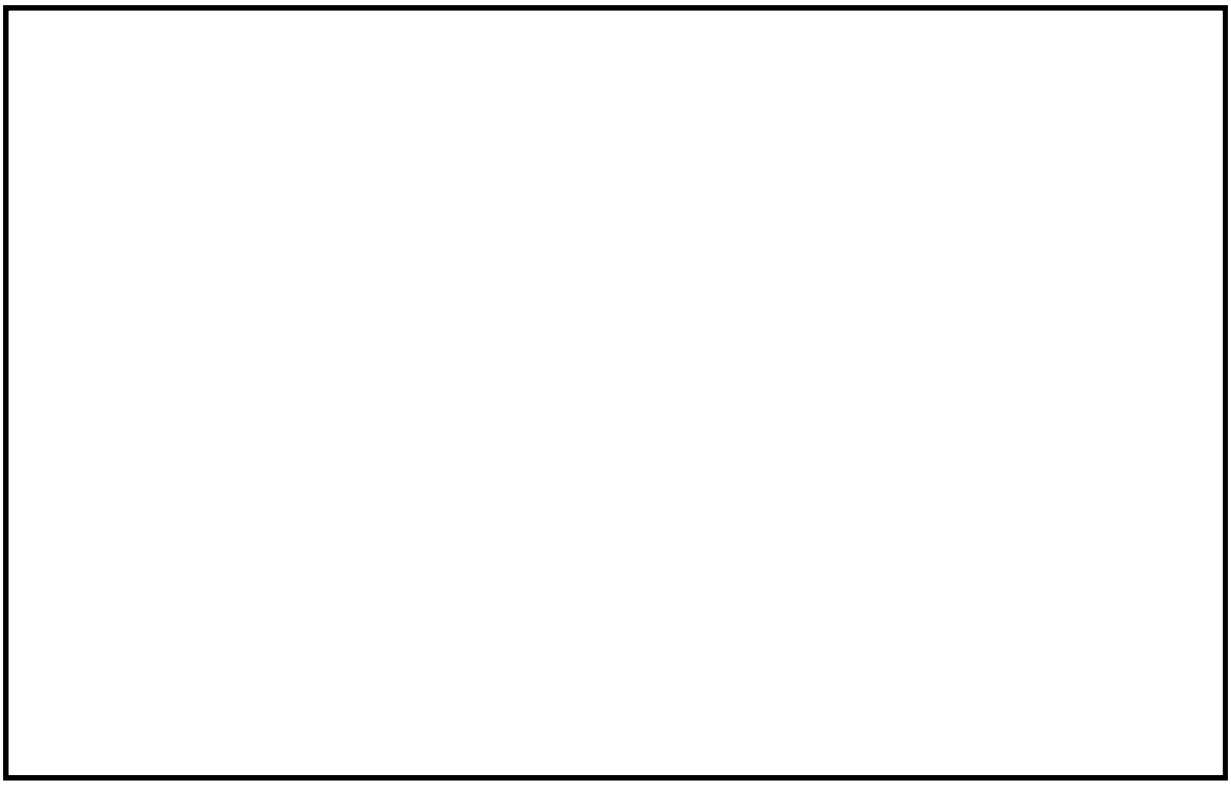




添付１－１図　金属キャスクの遮蔽評価における中央断面線源強度の概念図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添付１－２図　軸方向燃焼度分布(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付２

トラニオン部の遮蔽解析の妥当性について

1.　トラニオン部の評価方法の妥当性

表面の線量当量率が最も高くなる底部トラニオン表面を，三次元計算コード MCNP5(ライブラリ　FSXLIB-J33，MCPLIB02)で計算した結果を添付２－１表，添付２－１図，添付２－２図に示す。二次元輸送計算コード DOT3.5 の二次元円筒モデルをつないで評価した申請値は，三次元計算結果より保守的な値となっている。

2.　トラニオン部 DOT3.5 計算モデル範囲外の線量当量率の評価方法

(1)　接続位置の対応

接続位置として線束の引継ぎ面は，本体モデルの線量当量率等高線分布から放射線の流れを確認し，本体モデルの分布が保たれるようトラニオンモデルの線束引継ぎを行った。(添付２－３図参照)

(2)　角度束の扱い

引き継ぐ線束は，本体モデルの燃料有効部寄り(キャスク中心)のＺ方向とＲ方向に平行な面の角度束をトラニオンモデルの底面(Ｒ方向)と側部(Ｚ方向)の角度束に入れ替えているため，トラニオンモデルでは底部，側部とも全周にわたり線束が高い燃料有効部寄りの値になっており，トラニオン部の中心軸に対して線対称に高い線束で評価している。(添付２－４図参照)

(3)　メッシュ分割

メッシュ分割の違いの処理に関して，本体モデルに比べてトラニオンの分割は細かく，完全に一致させることができないため，トラニオンモデルのメッシュと同じ領域にある本体モデルの線束を入力値としている。(添付２－５図参照)

本体モデル，トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの底部側の線量

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

当量率等高線分布(中性子)とトラニオンモデル線束引継ぎ面を添付２－３図に示す。

(4)　範囲外の線量当量率

トラニオン部ＤＯＴ計算モデル範囲外の線量当量率については，添付２－６図に示すように本体モデルの線量当量率に SPACETRAN-Ⅲにより求めたトラニオンによる線量当量率の増加分を重ね合わせた。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付２－１表　キャスクの底部トラニオン表面における線量当量率
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

（μSv/h）

	申請値（２次元計算）	３次元計算[注1)]	
		中央値	相対標準偏差
燃料有効部ガンマ線			
構造材放射化ガンマ線			
二次ガンマ線			
中性子			
合計			
申請値に対する比（３次元計算/申請値）			

注）：計算条件，計算結果

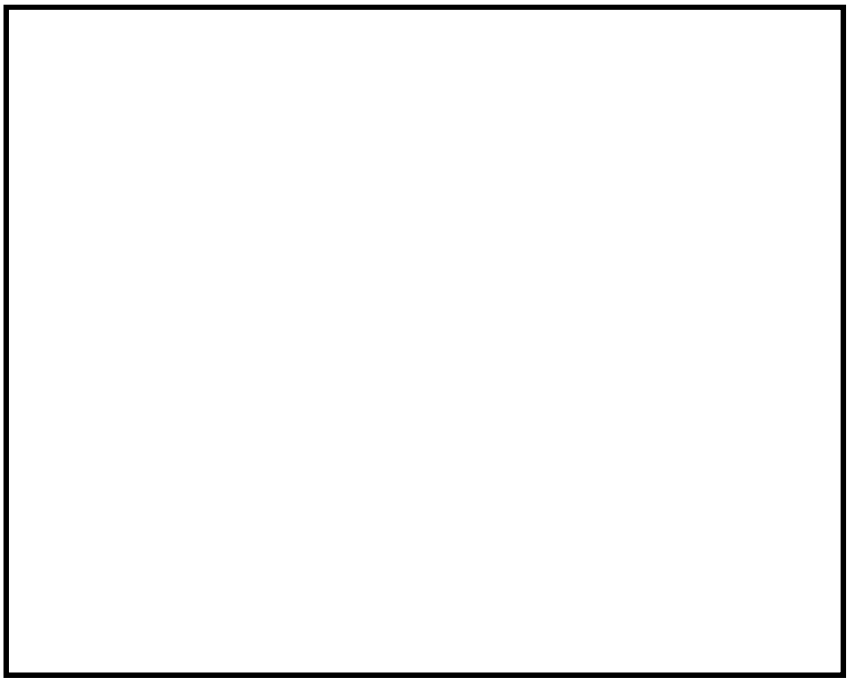
・計算コードは MCNP5，ライブラリは FSXLIB-J33 及び MCPLIB02 を使用。

・２次元円筒モデルの組み合わせを３次元でモデル化（添付２－１図参照）。

・トラニオン部近傍の線量率分布を添付２－２図に示す。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

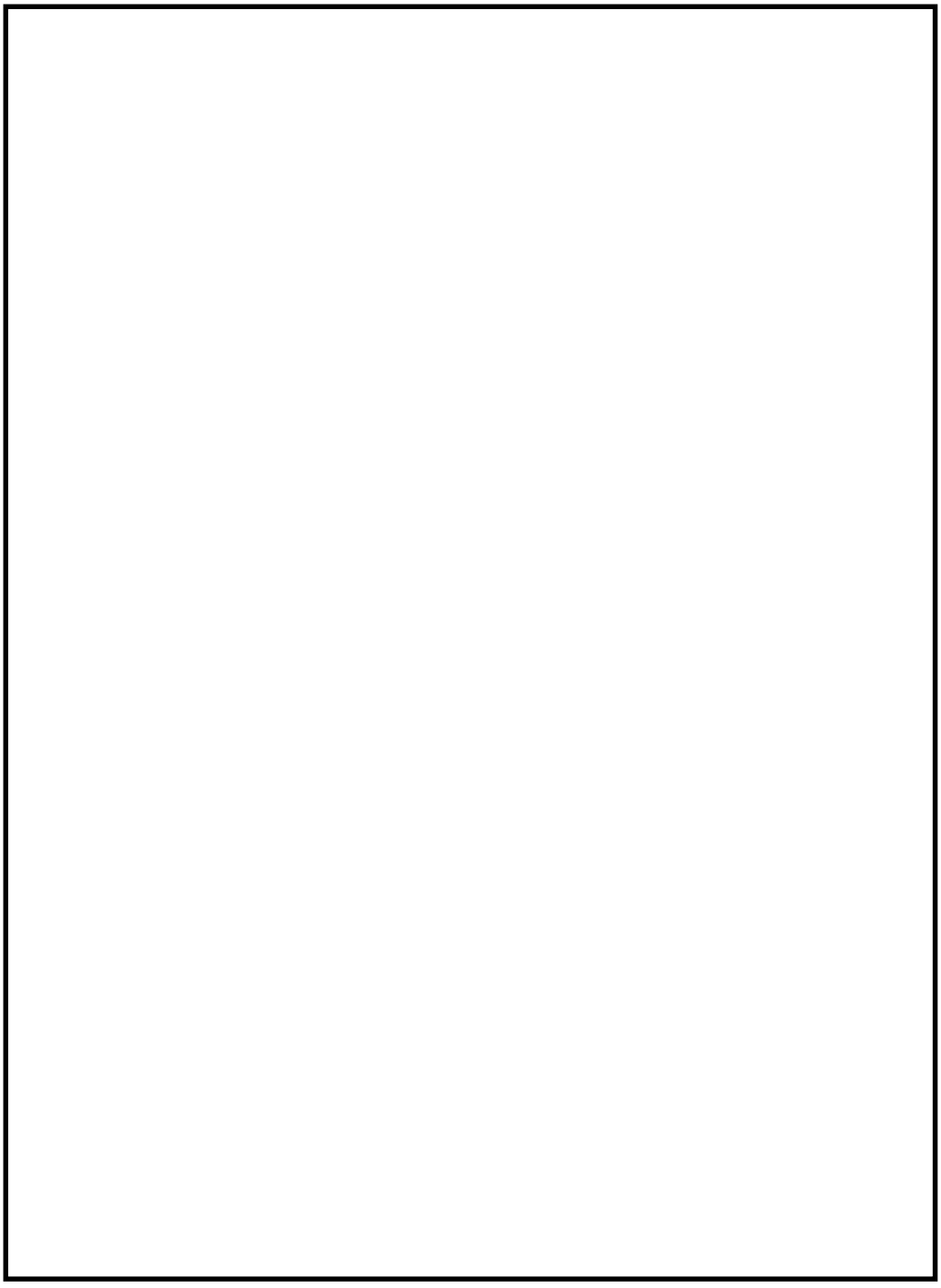


添付２－１図　底部トラニオン３次元計算モデル

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

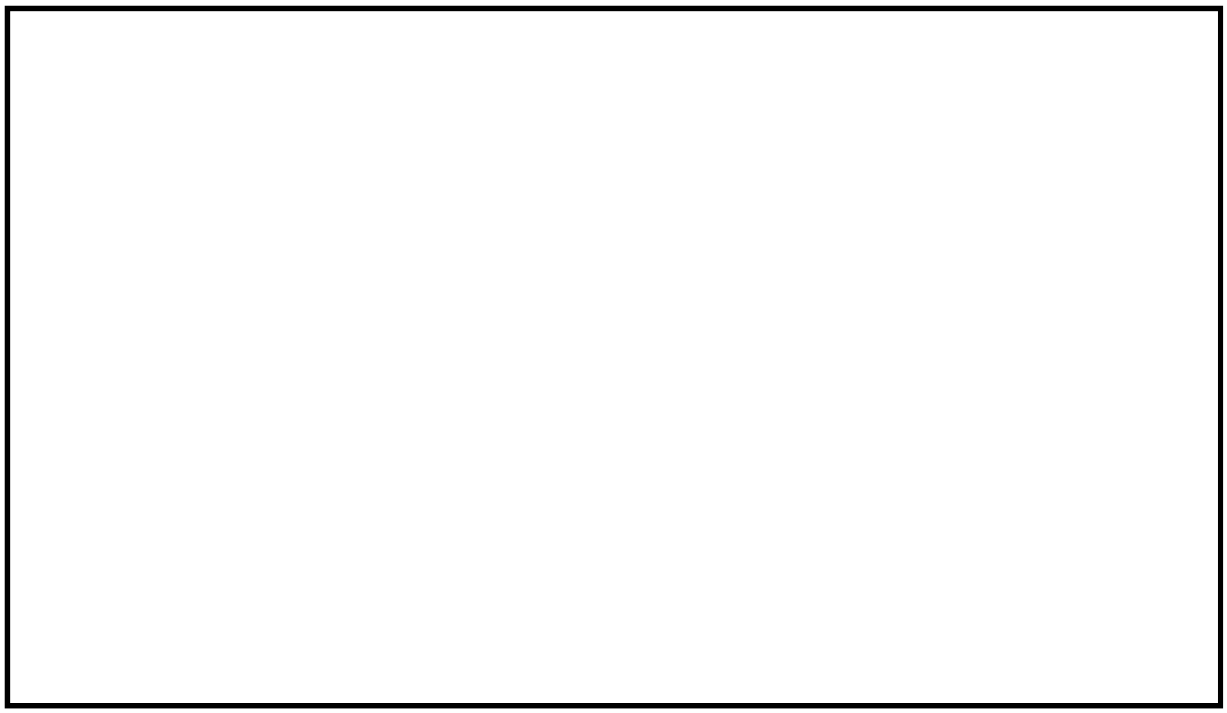
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



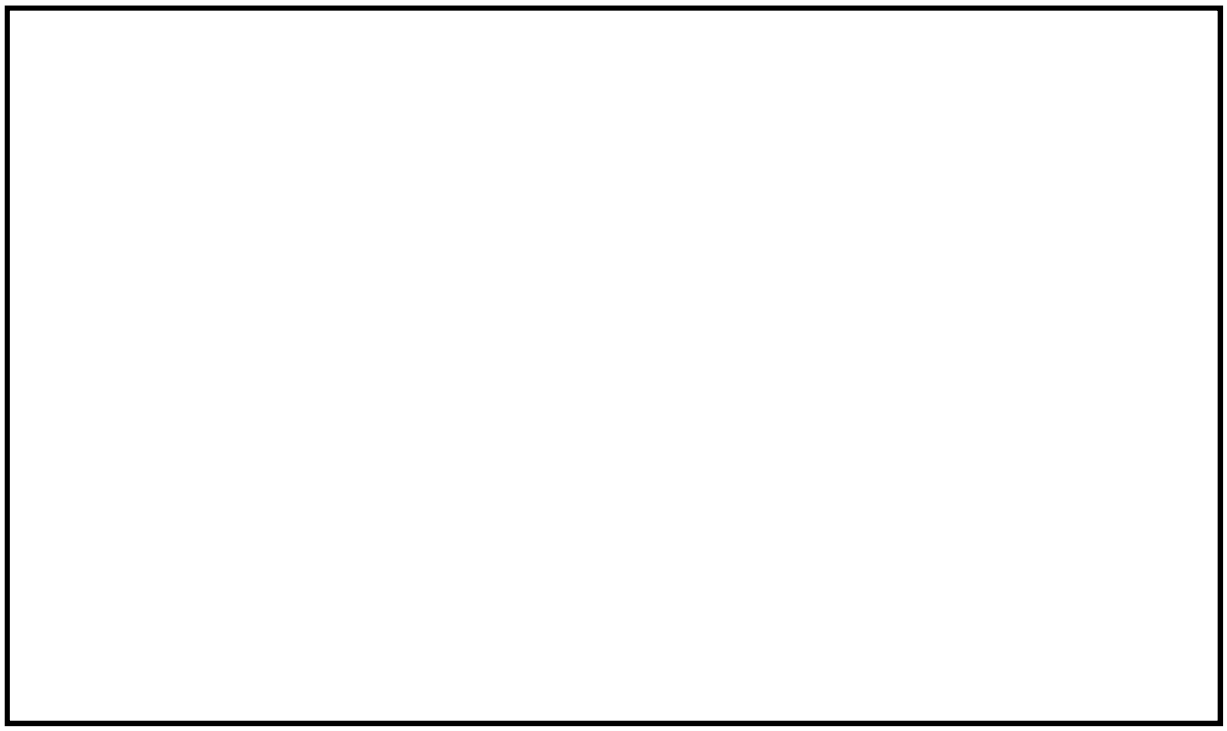
添付２－２図　表面における線量当量率分布(トラニオン部近傍)
(ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



a)本体モデル

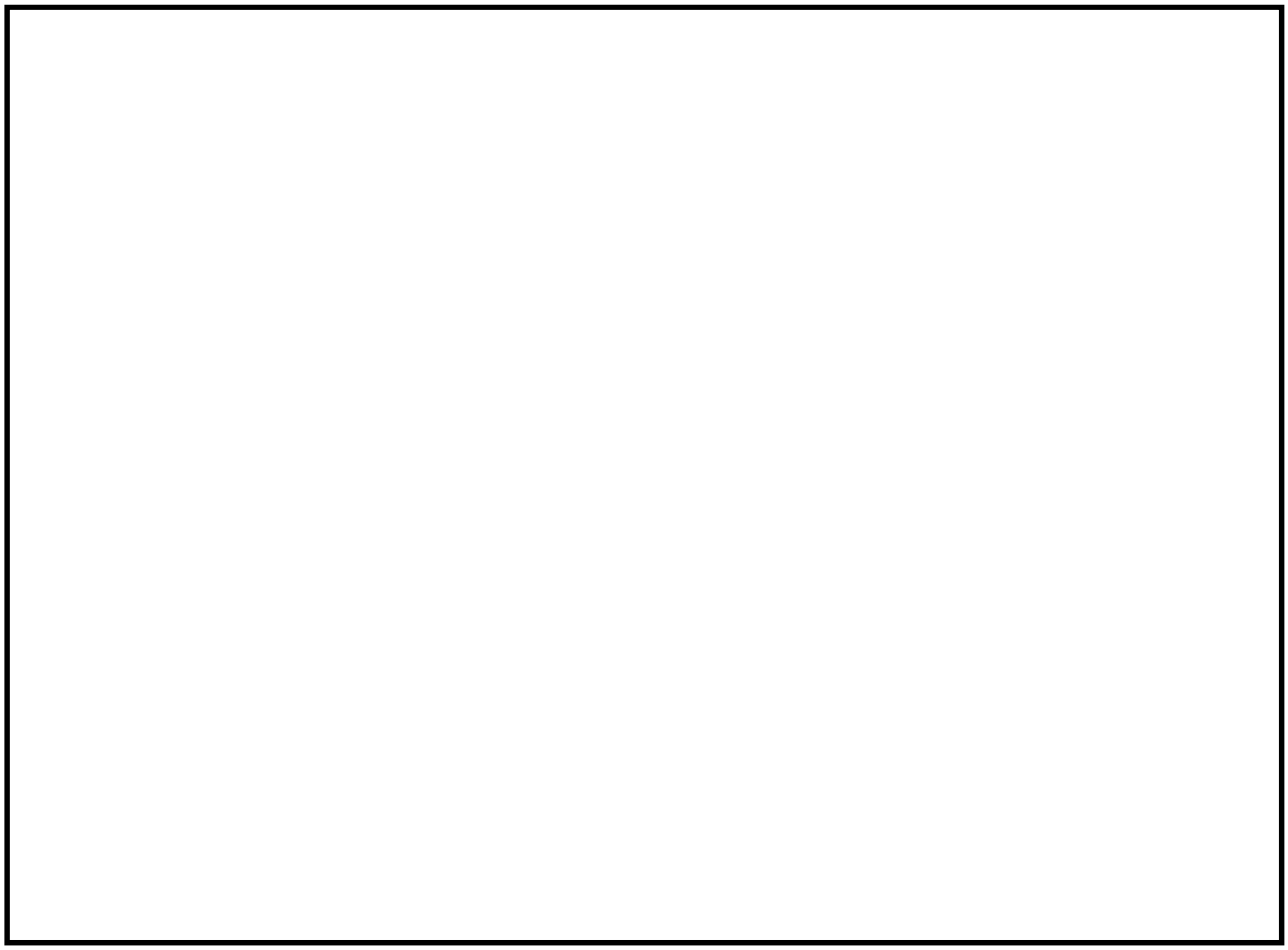


b) トラニオン有モデル　　c) トラニオン無モデル

添付２－３図　線量当量率等高線分布(中性子)
(ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ))

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

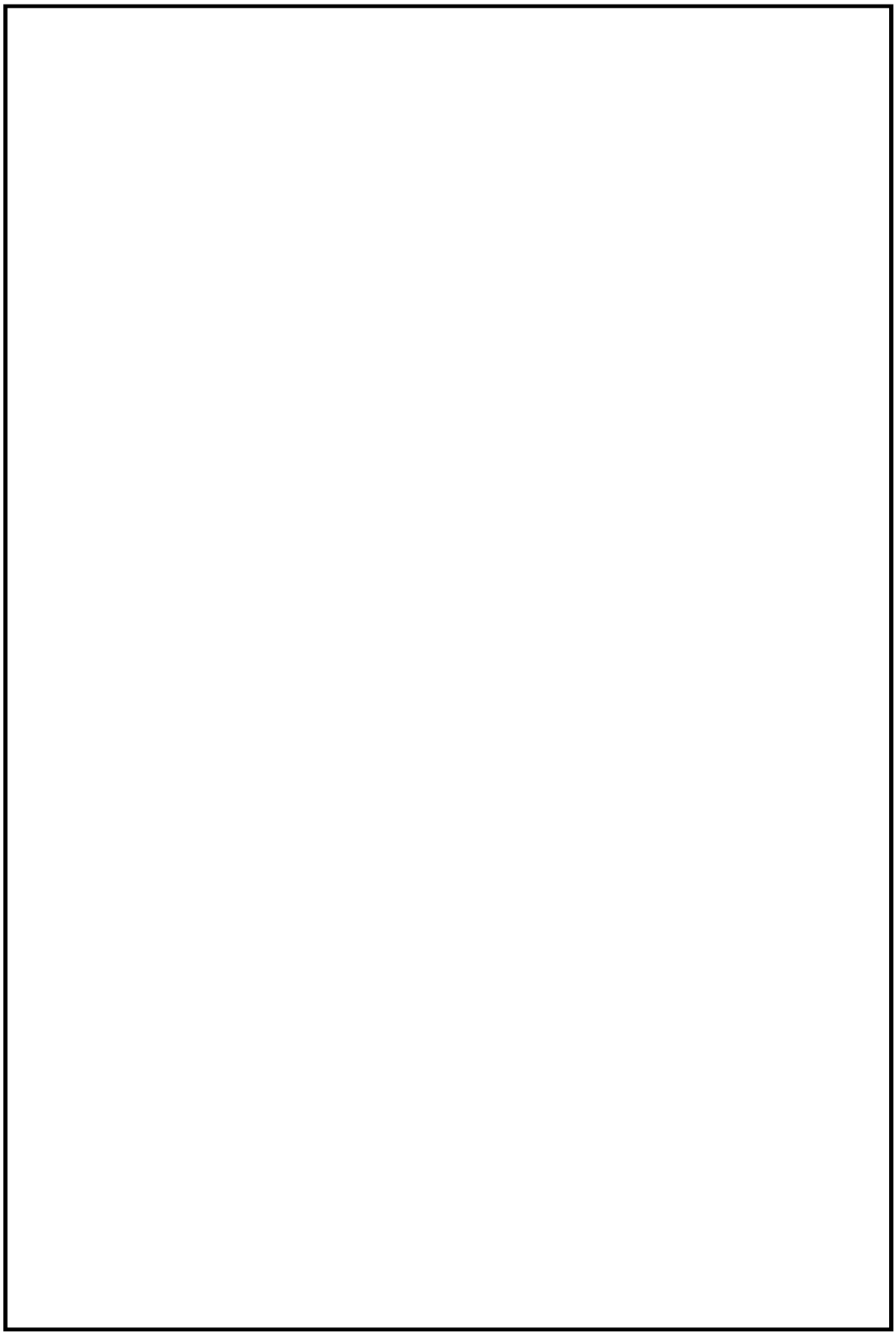
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添付２－４図　トラニオン部の線束引継ぎ方法の概念図（１）
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添付２－５図　トラニオン部の線束引継ぎ計算の概念図（２）
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付２－６図　表面から１ｍの位置における線量当量率分布
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

遮蔽解析結果における線量当量率の妥当性について

線量当量率は，線源の位置と線源強度に依存し，また，線源と評価点との間遮蔽材構成に依存するため，必ずしも表面と表面から１ｍの位置における線量当量率最大となる位置は一致しない。

(1)　金属キャスク表面における線量当量率

金属キャスク表面における線量当量率は，中性子遮蔽材の欠損部である底部において最大となり，中性子が支配的となる。(別添１－５図(1)参照)

ガンマ線は，遮蔽体である容器本体が肉厚の炭素鋼で製作されており，中性子遮蔽材のような欠損部がないことから，燃料有効部の線源強度の分布に従った変化となる。

(2)　金属キャスク表面から１ｍの位置における線量当量率

金属キャスク表面から１ｍの位置における線量当量率は，中性子遮蔽材欠損による中性子の局所ピークが緩和されるため，金属キャスクの中心部で最大となる。(別添１－５図(3)参照)

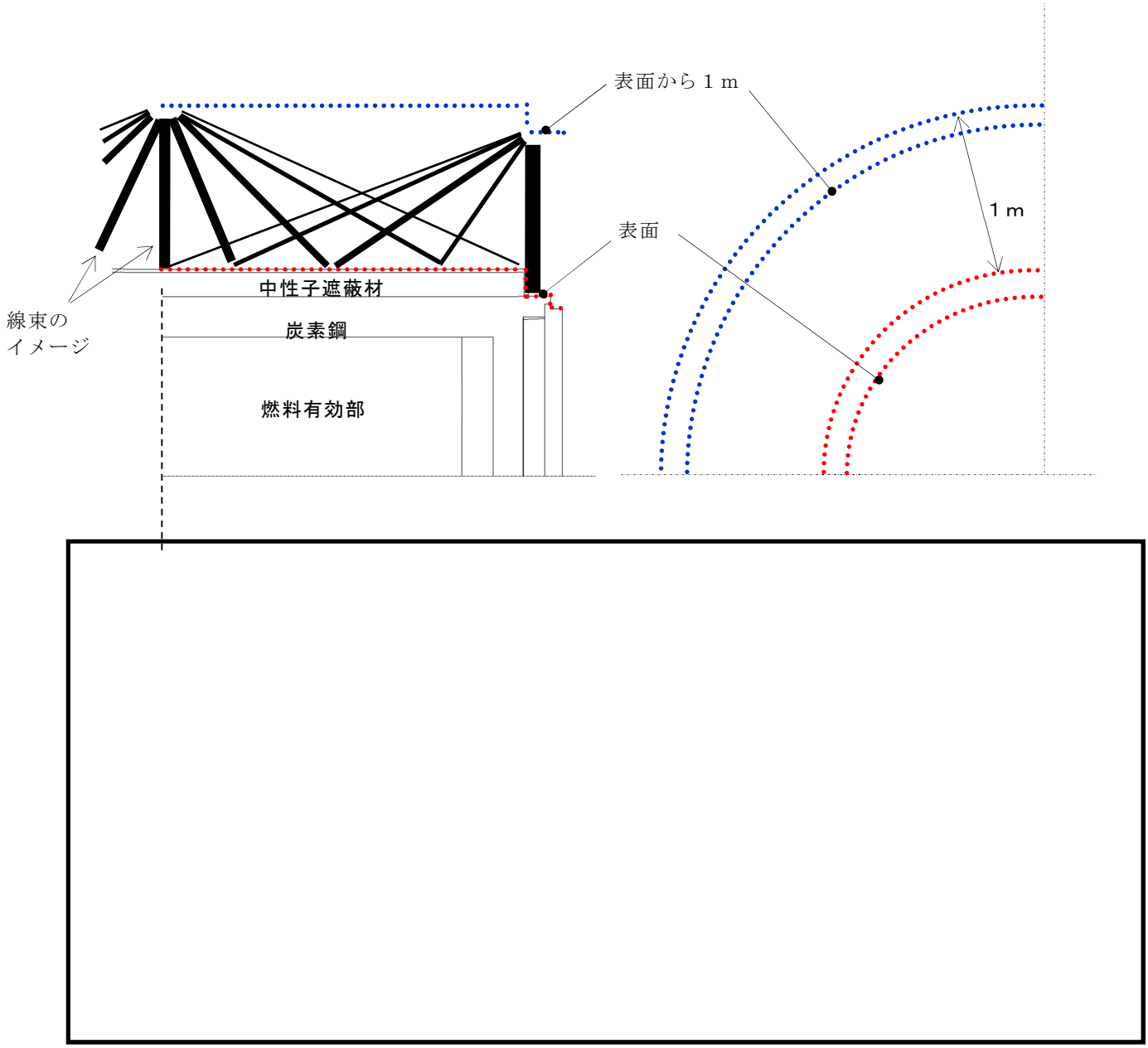
線量当量率は，燃料有効部の線源強度の分布に従った変化となり，ガンマ線が支配的となる。

(3)　局所ピークの緩和

局所ピークの緩和については，金属キャスク表面から１ｍの位置における線量当量率において局所ピークが緩和されるのは，金属キャスクから到達するすべての線束を，評価点において足しあわせた結果，表面における線量当量率が大きい燃料有効部のガンマ線の線束の効果が大きく，中性子遮蔽材欠損による中性子の局所ピークが距離による減衰の為に小さくなったことによる。(添付３－１図～添付３－３図参照)

第７表(1)，第７表(2)において，表面における線量当量率は「頭部-径方向（トラニオン部）」が「頭部-径方向」に対し，２倍近い値となっているが，表面から１ｍの位置における線量当量率は「頭部-径方向（トラニオン部）」と「頭部-径方向」の値がほぼ変わらないのも，中性子遮蔽材欠損による中性子の局所ピークが緩和される効果のためである。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

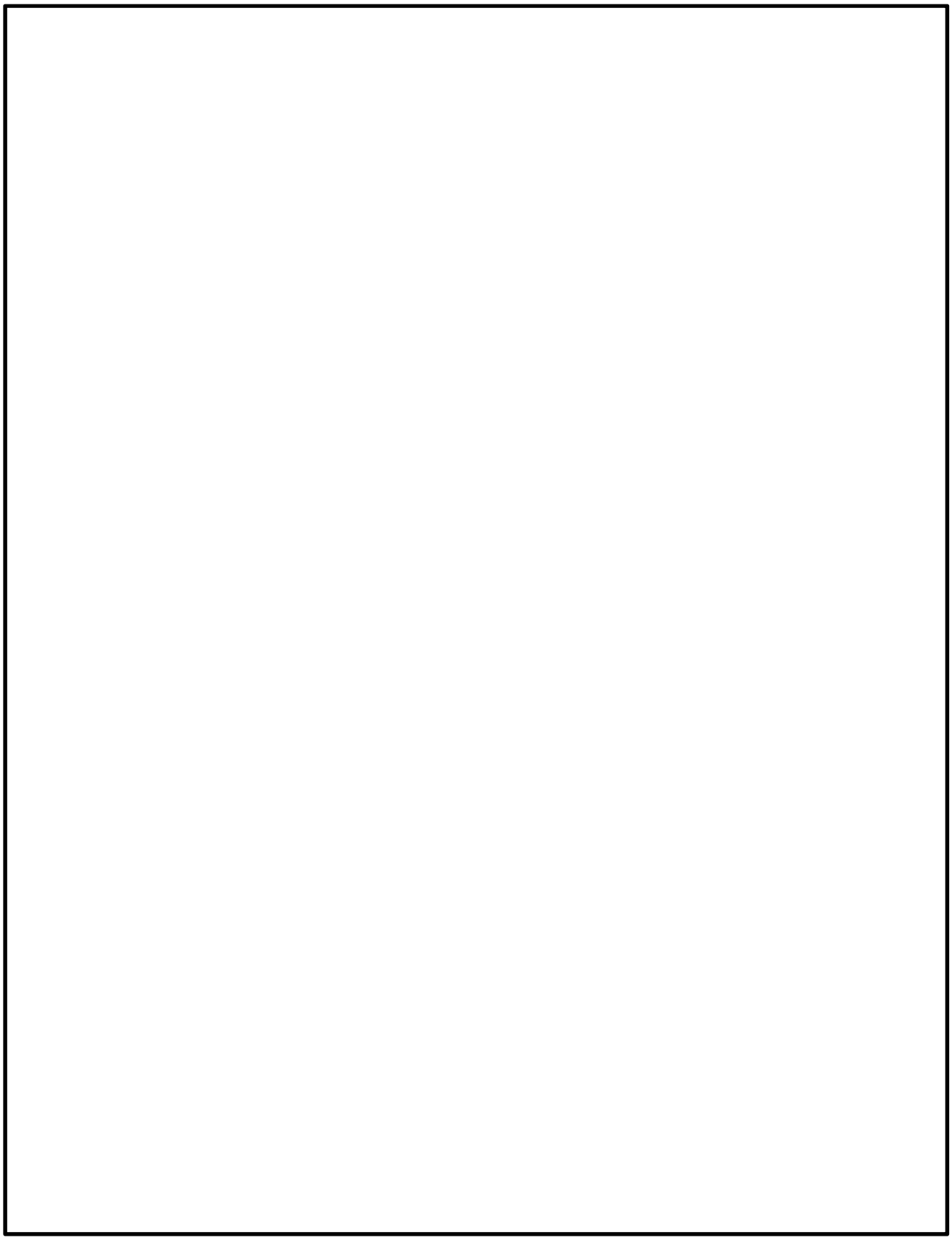


添付３－１図　金属キャスク底部側の線量当量率分布

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

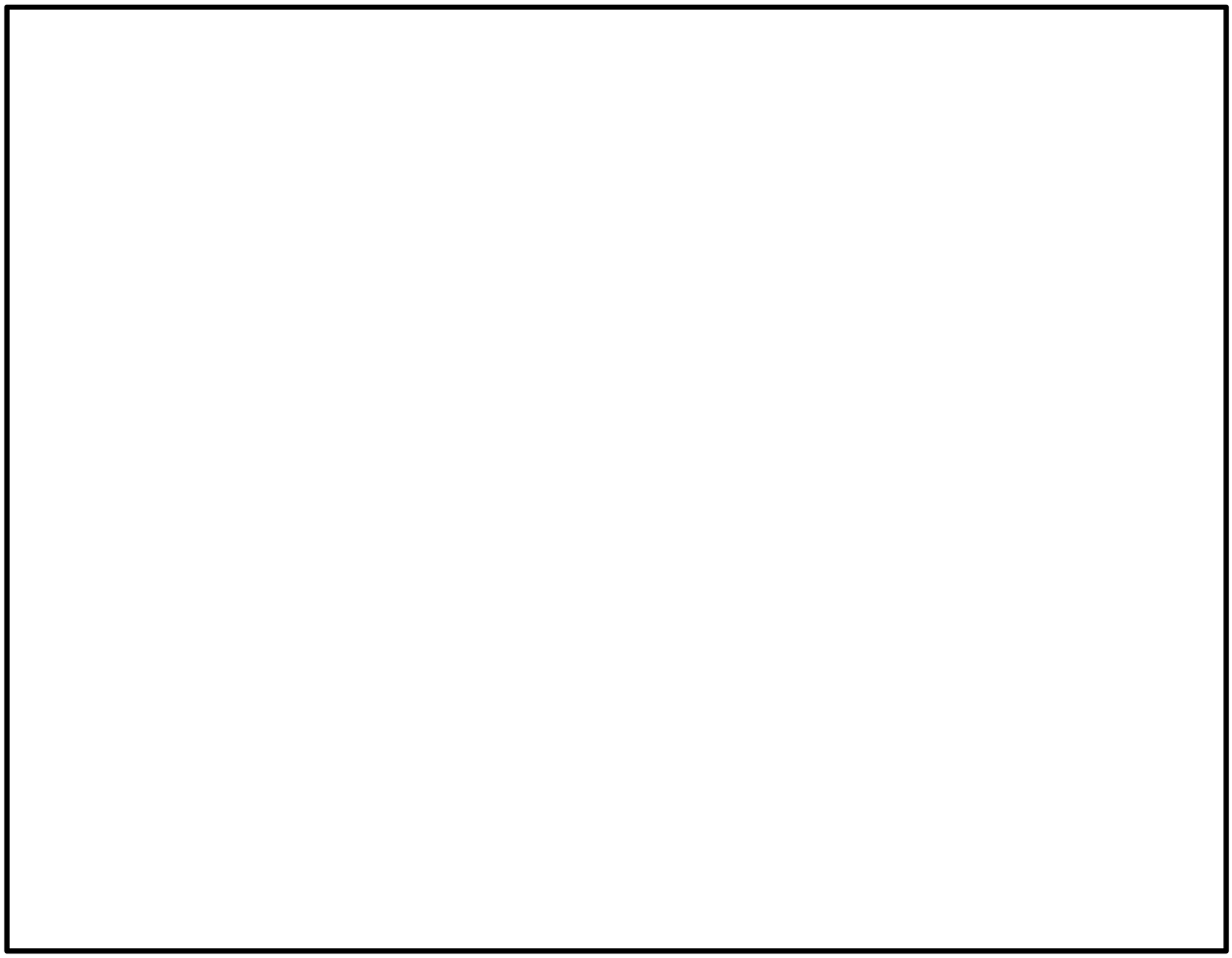
無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添付３－２図　金属キャスク底部側の線量当量率分布の詳細（中性子）
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



通常，金属キャスク表面から１ｍの位置における線量当量率は，SPACETRAN-Ⅲにより，側部と底部方向（あるいは蓋部方向）を一括計算している。なお，別添１－５(3)の線量当量率分布はキャスクの全長分だけを記載している。

添付３－３図　SPACETRAN-Ⅲの計算モデル(底部側)

（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

遮蔽解析における二次元輸送計算コードDOT3.5の妥当性について

1. DOT3.5の妥当性

二次元輸送計算コードDOT3.5は,原子力施設の遮蔽解析に広く用いられており，輸送キャスクの遮蔽解析においても豊富な実績がある。

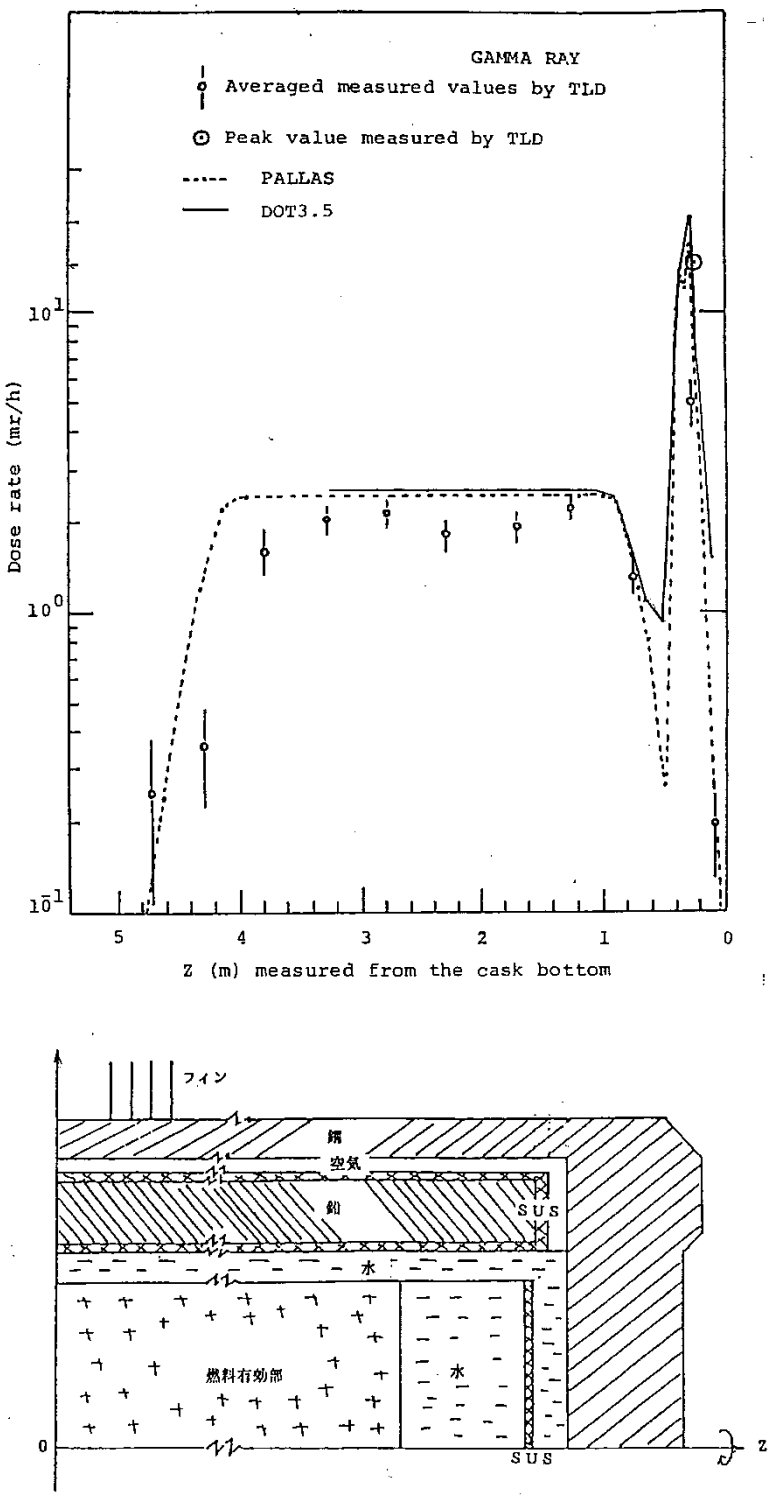
ガンマ線及び中性子について DOT3.5 で解析した使用済燃料輸送キャスクの解析事例と測定値を別添２－１図(1)，別添２－１図(2)参照に示す。図から明らかなように解析値が全て測定値を上回っており，DOT3.5はキャスク体系への適用の妥当性が検証されたものである。

なお，トラニオン部では，DOT3.5の妥当性を確認するために三次元のモンテカルロコードによる解析を実施している。

2. SPACETRAN-Ⅲを用いた算出方法

線量当量率における各々の最大位置は，キャスクの表面と表面から１ｍの位置における線量当量率の分布を求め,最大位置を確認している。SPACETRAN-Ⅲコードでは，任意の評価点に対して，キャスク表面(DOT3.5 による評価領域の外面)からの距離による減衰を考慮して線量計算が行われる。キャスク周囲は空気領域で，放射線の散乱はほとんど発生しないため，SPACETRAN-Ⅲで回り込みは考慮しない。なお，側部方向と軸方向が重なり合う領域については，コードの中で各々の方向の計算から合成された結果として算出される。(別添２－２図参照)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



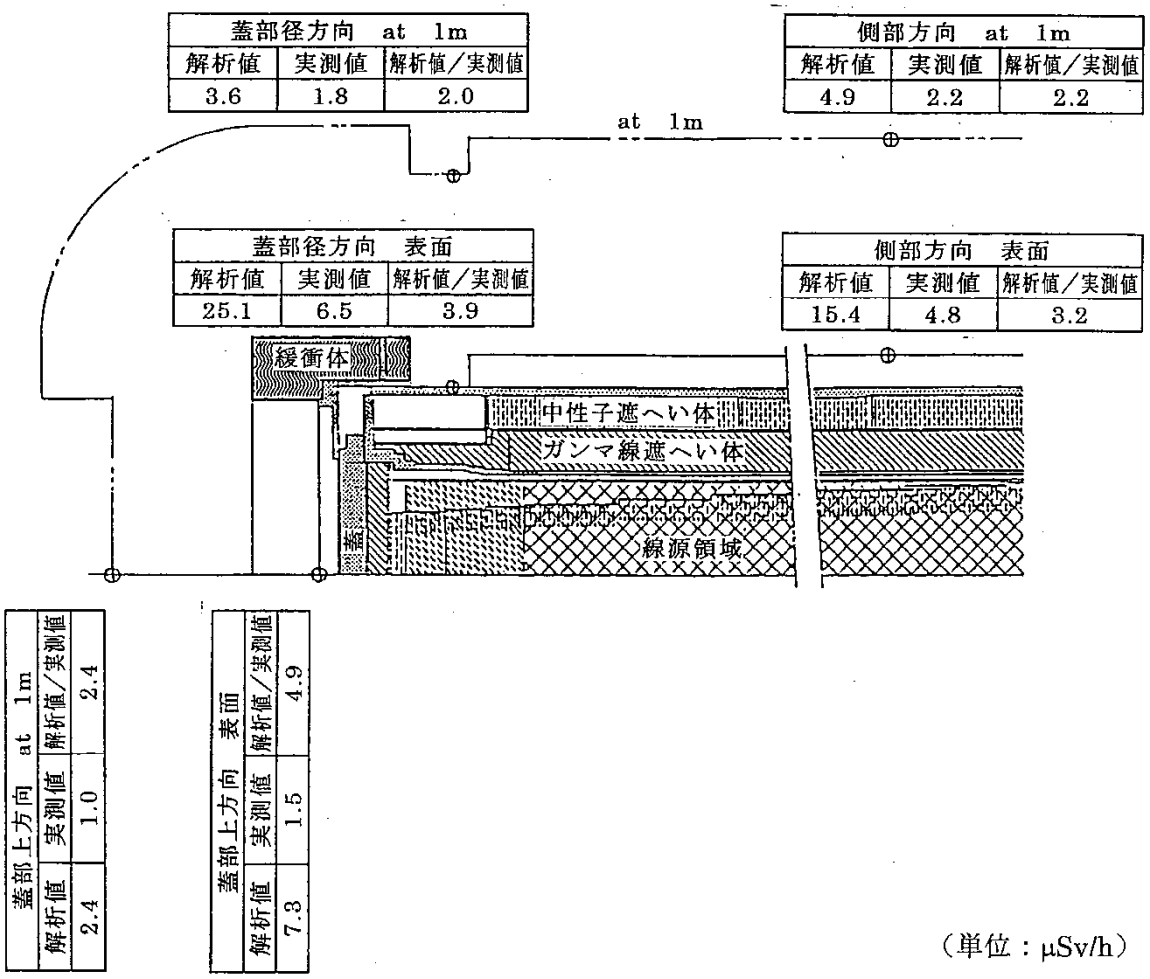
EXCELLOX 型輸送物の容器表面でのガンマ線量当量率

（第 13 基準研究部会「使用済燃料の安全輸送に関する調査研究報告書」昭和 54 年 3 月、日本造船研究協会[7]の PALLAS コード検証例に DOT コード解析結果を追記したものである。）

参考文献　・日立造船株式会社,「使用済燃料乾式貯蔵設備の安全設計で使用する解析コードについて」, HZTR－02, (1997)

別添２－１図(1)　ガンマ線線量当量率の DOT コードの検証例

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

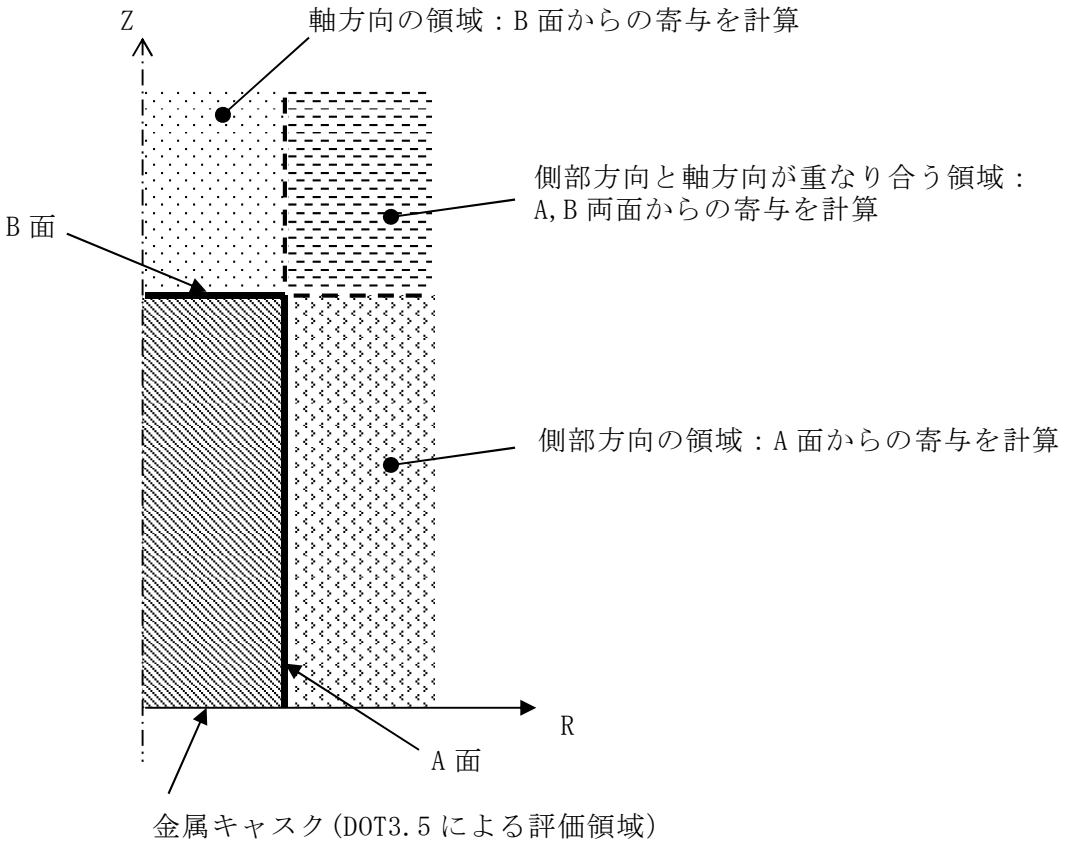


HZ-75T 型輸送物の表面及び表面より 1m の位置での中性子線量当量率

参考文献　・日立造船株式会社,「使用済燃料乾式貯蔵設備の安全設計で使用する解析コードについて」, HZTR－02, (1997)

別添２－１図(2)　中性子線量当量率の DOT コードの検証例

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添２－２図　SPACETRAN-Ⅲコードの評価体系

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の遮蔽評価条件等の妥当性について

1.　構造及び遮蔽条件の妥当性について

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）に収納する燃焼度が同じ最高燃焼度40,000MWd/t，平均燃焼度34,000MWd/tである新型８×８ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度８×８燃料をそれぞれ全数収納した場合の金属キャスク表面及び表面から１ｍの位置における線量当量率評価にあたっては，各使用済燃料集合体の軸方向燃焼度分布，中性子実効増倍率，燃料構造材の材質及び質量を考慮している。

いずれの部位においても高燃焼度８×８燃料全数収納時よりも新型８×８ジルコニウムライナ燃料全数収納時の線量当量率が高いことから，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の遮蔽評価としては，新型８×８ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合が最も厳しくなる。

線量当量率の評価では，中性子実効増倍率（k_{eff}：0.259（新型８×８ジルコニウムライナ燃料），0.272（高燃焼度８×８燃料））を用いて中性子の増倍効果（$1/(1-k_{eff})$）を考慮しているが，その効果（1.350（新型８×８ジルコニウムライナ燃料），1.374（高燃焼度８×８燃料））の差は僅かである。従って，中性子実効増倍率の差異による影響についても，元々の一次中性子線源強度が高燃焼度８×８燃料と比較して４割程大きい新型８×８ジルコニウムライナ燃料の線量当量率に包絡される。

このため，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の遮蔽評価条件は，新型８×８ジルコニウムライナ燃料を全数収納するＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）の評価条件と同一となる。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添４

解析に使用した基本的なデータについて

1.　遮蔽材の密度について

解析で使用した遮蔽材の密度は,ばらつきを考慮し,最小密度としている。

金属材料の最小密度は，文献値や購入実績を参考にして定めたメーカ設定値である。レジンの最小密度は，メーカで保証値を定めて，密度測定により保証値を下回らないことを確認している。（別添４－１表参照）

2.　遮蔽厚さについて

解析モデルの各種寸法は，公称値でモデル化している。遮蔽厚さは，各遮蔽体の最小密度に係数(最小寸法／公称寸法)を乗じることで，解析において最小厚さの評価となるようにしている。

3.　元素組成について

ガンマ線の遮蔽能力は，ほぼ密度で決まるため微量元素の影響は無視できる。

中性子の遮蔽能力は，特定の元素である水素の密度で決まり，その他の元素の寄与は少ないため，微量元素の影響は無視できる。また，組成のばらつきの影響は,無視できるレベルである。主な遮蔽材料である炭素鋼について，微量元素を無視しても線量当量率に有意な影響を与えないことを確認している。（別添４－２表～別添４－４表参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添４－１表　金属キャスクの遮蔽材の密度及び元素組成
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

項目／材料	遮蔽材の密度 (g/cm^3)	元素組成（重量%）	備考
炭素鋼		Fe:100	密度：文献値や購入実績を参考に定めたメーカ設定値 組成：微量元素無視
ｵｰｽﾃﾅｲﾄ系ｽﾃﾝﾚｽ鋼		Fe:72 Cr:19 Ni:9	密度：文献値や購入実績を参考に定めたメーカ設定値 組成：JIS G4303 記載値の中央値
析出硬化系ｽﾃﾝﾚｽ鋼		Fe:76 Cr:16 Ni:4 Cu:4	密度：文献値や購入実績を参考に定めたメーカ設定値 組成：JIS G4303 記載値の中央値
ほう素添加ｽﾃﾝﾚｽ鋼		B:1 Fe:71 Cr:19 Ni:9	密度：文献値や購入実績を参考に定めたメーカ設定値 組成：B の組成は最小保証値
ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金		Al:100	密度：文献値や購入実績を参考に定めたメーカ設定値 組成：微量元素無視
レジン*1		－*2	密度：メーカ保証値*1 組成：メーカ保証値*1

*1：このレジンは（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）／ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））の製造者の開発品である。
*2:主成分とその配合比を管理している。主成分（配合比）は以下の通りである。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添４－２表　側部表面における線量当量率[注1)]比較

（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）

（μ Sv/h）

計算ケース[注2)]		[redacted]						
中性子		72.7	70.1	72.3	71.1	72.6	72.6	68.0
ガンマ線	二次ガンマ線	26.9	26.6	26.8	26.5	26.9	26.9	26.4
	燃料有効部	95.8	95.6	95.6	96.2	95.8	95.7	95.8
	構造材放射化	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1	＜0.1
合計		195.5	192.4	194.8	193.9	195.4	195.3	190.3
Fe100%に対する比(各ケース合計/本評価の合計)		—	0.984	0.996	0.992	0.999	0.999	0.973

注１）：評価方法，計算条件

・（ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）の燃料中心高さ半径方向一次元輸送計算を各ケースで実施し，得られた 1cm 線量当量率の比を，申請値(Fe100％の評価)に乗じて算出。[注3)]

・炭素鋼の密度を保存して組成のみを変更。

・計算に使用している核データ DLC23 に含まれない[redacted]は，MATXSLIB-J33 ライブラリを縮約して使用。

注2)：ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の胴で使用している炭素鋼の化学成分（別添４－３表参照）

注３)：ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)）の燃料中心高さ半径方向一次元輸送計算結果(別添４－４表参照)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添４－３表　炭素鋼の化学成分

((ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)の胴)

材料名	炭素	けい素	マンガン	りん	硫黄

別添４－４表　燃料中心高さ半径方向一次元輸送計算結果(μSv/h)

( )内はFe:100%の結果との比

計算ケース		Fe:100%						
中性子			(0.964)	(0.994)	(0.978)	(0.999)	(0.999)	(0.936)
ガンマ線	二次ガンマ線		(0.988)	(0.998)	(0.984)	(1.000)	(0.999)	(0.980)
	燃料有効部		(0.998)	(0.998)	(1.004)	(1.000)	(0.999)	(1.000)

・構造材放射化は値が小さいため評価対象としていない。
・一次元計算であるため，燃料中心部が上下方向に無限に続く体系になり，計算結果は有限体系(R-Z)の申請値より高くなる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５

二次元輸送計算コードで使用する断面積ライブラリについて

金属キャスクの遮蔽解析では，最も実績のある手法である二次元輸送計算コードDOT3.5及び断面積ライブラリDLC-23/CASKの組合せで評価をしている。しかし，本断面積ライブラリは特定の条件（鉄の単層透過など）では中性子線量当量率を過小評価することが文献等で知られている。

ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２)／ＢＷＲ用大型キャスク(タイプ２Ａ)において，特定の条件で中性子線量当量率の評価が向上するとされている断面積ライブラリMATXSLIB-J33による評価結果が示されている[1]。同評価によれば，金属キャスク表面における最大線量当量率は1.811mSv/hであり2mSv/h以下となること，金属キャスク表面から１ｍの位置における最大線量当量率は98.6μSv/hであり100μSv/h以下となることが，それぞれ確認されている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別紙6-1表(1/2)　線量当量率評価結果の比較(配置(i))

(単位：μSv/h)　1

評価点			頭部						側部中央		底部					
			軸方向		径方向		径方向(トラニオン部)				径方向		径方向(トラニオン部)		軸方向	
			①		③a		③b		⑤		⑦a		⑦b		⑨	
ライブラリ*3			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
表面	ガンマ線	燃料有効部	0.1	0.1	0.5	0.3	0.5	0.3	95.8	70.6	1.3	0.9	24.2	17.5	3.0	2.0
		構造材放射化	4.9	3.9	132.5	169.7	110.4	118.2	< 0.1*1	< 0.1*1	12.8	9.8	63.2	47.6	19.1	13.3
		二次ガンマ線	0.7	0.6	2.0	2.6	2.1	2.7	26.9	36.9	4.6	7.8	7.8	10.8	2.3	3.2
	中性子		188.2	296.3	253.9	347.2	505.2	770.1	72.7	87.8	706.9	1445.7	1012.5	1735.1	265.9	598.4
	合計		193.9	300.9	388.9	519.8	618.2	891.3	195.5	195.4	725.6	1464.2	1107.7*2	1811.0*2	290.3	616.9
評価点			②		④a		④b		⑥		⑧a		⑧b		⑩	
ライブラリ*3			A	B	A	B*4	A	B*4	A	B	A	B*4	A	B	A	B
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.5	0.3	12.9	8.9 (2.6)	12.9	8.9 (3.2)	40.5	29.6	21.2	15.4 (0.8)	21.2	15.4	3.9	2.9
		構造材放射化	45.6	45.4	24.0	20.4 (27.1)	24.0	20.4 (26.2)	0.7	0.5	8.1	6.3 (8.8)	8.1	6.3	59.3	44.9
		二次ガンマ線	0.2	0.2	3.1	4.3 (2.0)	3.1	4.3 (2.2)	10.5	14.3	5.3	7.3 (0.6)	5.3	7.3	0.9	1.0
	中性子		28.7	52.7	17.3	23.0 (38.4)	20.9	30.5 (39.1)	26.2	32.2	13.4	16.7 (53.8)	24.5	40.8	16.2	31.4
	合計		75.0	98.6*2	57.3	56.6 (70.1)	60.9	64.1 (70.7)	77.9	76.6	48.0	45.7 (64.0)	59.1	69.8	80.3*2	80.2

注記 *1：“<0.1”の値は、“0.1”として合計値に合算した。

*2：下線で示す値は、表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率の最大値である。

*3：DLC-23/CASKを用いた評価をA、MATXSLIB-J33を用いた評価をBとする。

*4：AとBで評価方向ごとの最大値を与える位置が異なる(別紙6-1図参照)。Aと同じ評価位置における結果を示し、()内にはBの評価位置における結果を示す。

参考文献

[1] 日立GEニュークリア・エナジー㈱，「補足説明資料1-2 HDP-69B(B)型の遮蔽設計に関する説明資料」，FRO-TA-0003/REV.1，平成30年4月

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第４条　遮蔽等（貯蔵建屋）

＜目　次＞

１．設計方針
２．遮蔽設計

（別　添）
別添１　遮蔽設計に用いる線源と評価結果
別添２　直接線及びスカイシャイン線による評価について
別添３　貯蔵建屋の遮蔽評価について
別添４　作業線量想定について
別添５　放射線漏えいの低減措置
参考　　貯蔵建屋が無い場合の敷地境界線量について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，「使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則」に基づいて管理区域を定めるとともに，放射線業務従事者が受ける線量が「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」に定められた線量限度を超えないようにし，さらに，放射線業務従事者及び一時立入者（以下「放射線業務従事者等」という。）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できるように，使用済燃料貯蔵建屋に遮蔽壁及び遮蔽ルーバを設け，また，貯蔵区域への入口に迷路又は遮蔽扉を設けて，遮蔽及び機器の配置を行うとともに，各場所への立入頻度，滞在時間及び立入エリアを制限することにより，放射線業務従事者等の被ばくを低減する。（第１表，第１図参照）

使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）の遮蔽設計に当たっては，放射線業務従事者の立入頻度，滞在時間及び立入エリアを考慮して外部放射線に係る基準線量率を設け，これを満足するようにする。

また，事業所内の管理区域以外の人が立ち入る場所における線量を合理的に達成できる限り低くし公衆の線量限度以下に低減できるよう，外部放射線に係る線量の測定を行い，必要に応じて区画の実施，作業時間の制限等，適切な措置を講ずる。

なお遮蔽設計に用いる線源と評価結果を別添１に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　遮蔽設計

(1)　遮蔽設備

遮蔽設備の主要仕様を第２表及び第２図に示す。

ａ．遮蔽壁

遮蔽壁は，貯蔵建屋側壁，天井，貯蔵区域区画壁及び貯蔵区域仕切壁のコンクリート壁で構造材を兼用する。

ｂ．遮蔽ルーバ

遮蔽ルーバは，貯蔵建屋貯蔵区域における排気口までの経路に設けられたコンクリート製の平板で，排気口からの放射線の漏えいを低減する。

(2)　機器の配置

金属キャスクは，貯蔵建屋貯蔵区域に配置し，その入口には迷路又は遮蔽扉を設ける。

(3)　公衆の線量

貯蔵建屋貯蔵区域に収容されている金属キャスク 288 基からの直接線及びスカイシャイン線について評価した結果，敷地境界外における公衆の実効線量は，年間約 2.8×10^{-2}mSv であり，「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」(第２条)に示されている周辺監視区域外における線量限度１mSv/年，並びに，貯蔵事業許可基準規則の解釈第４条（遮蔽等）に示される 50μSv/年以下を十分に下回る。

直接線及びスカイシャイン線による評価の詳細を別添２に示す。

(4)　貯蔵建屋内外の線量

貯蔵建屋貯蔵区域に収容されている金属キャスク最大 288 基，受入れ区域に仮置きしている金属キャスク最大９基（たて起こし架台１基，仮置架台７基，検査架台１基）を適切に配置して貯蔵建屋内外の線量を評価し，その評価結果が第１表に示す外部放射線に係る基準を満足することを確認する。

なお，事業所内の管理区域以外の人が立ち入る場所については，作業場所の外部放射線に係る線量の測定を行い，必要に応じて区画の実施，立入時間の管理，被ばくに対する注意喚起といった線量低減措置を講ずること

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

により，当該場所に滞在する者の線量を公衆の線量限度以下とする。

貯蔵建屋遮蔽評価の詳細を別添３に，放射線業務従事者の貯蔵区域内及び受入れ区域内作業及び線量想定を別添４に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第１表　外部放射線に係る設計基準

区　分		外部放射線に係る設計基準	区　域
管理区域外	A	0.0026mSv/ｈ以下	付帯区域
管理区域内	B	0.01mSv/ｈ未満	受入れ区域 貯蔵区域
	C	0.01mSv/ｈ以上	

※　受入れ区域は，金属キャスクが仮置きされていない場合はＢ区分となるように設計

【補足：遮蔽区分の考え方】

区分Ａ：付帯区域（監視盤室，チェックポイント等）

滞在時間：500 時間/3 月間（管理区域境界の作業者）

1.3（mSv）/500（時間）＝0.0026mSv/h

区分Ｂ：金属キャスクが仮置きされていない受入れ区域

滞在時間：130 時間/3 月間（2 時間/日×65 日）

1.3（mSv）/130（時間）＝0.01 mSv/h

（機器点検等の作業時における放射線業務従事者の被ばく低減の観点から，管理区域外と同様の考え方で基準を設定。）

区分Ｃ：受入れ区域，貯蔵区域

（金属キャスクの除熱機能維持の観点から，建屋内の遮蔽設計として特別な考慮はせず，放射線管理設備及び入域時間制限等の運用により，放射線業務従事者の線量を管理。）

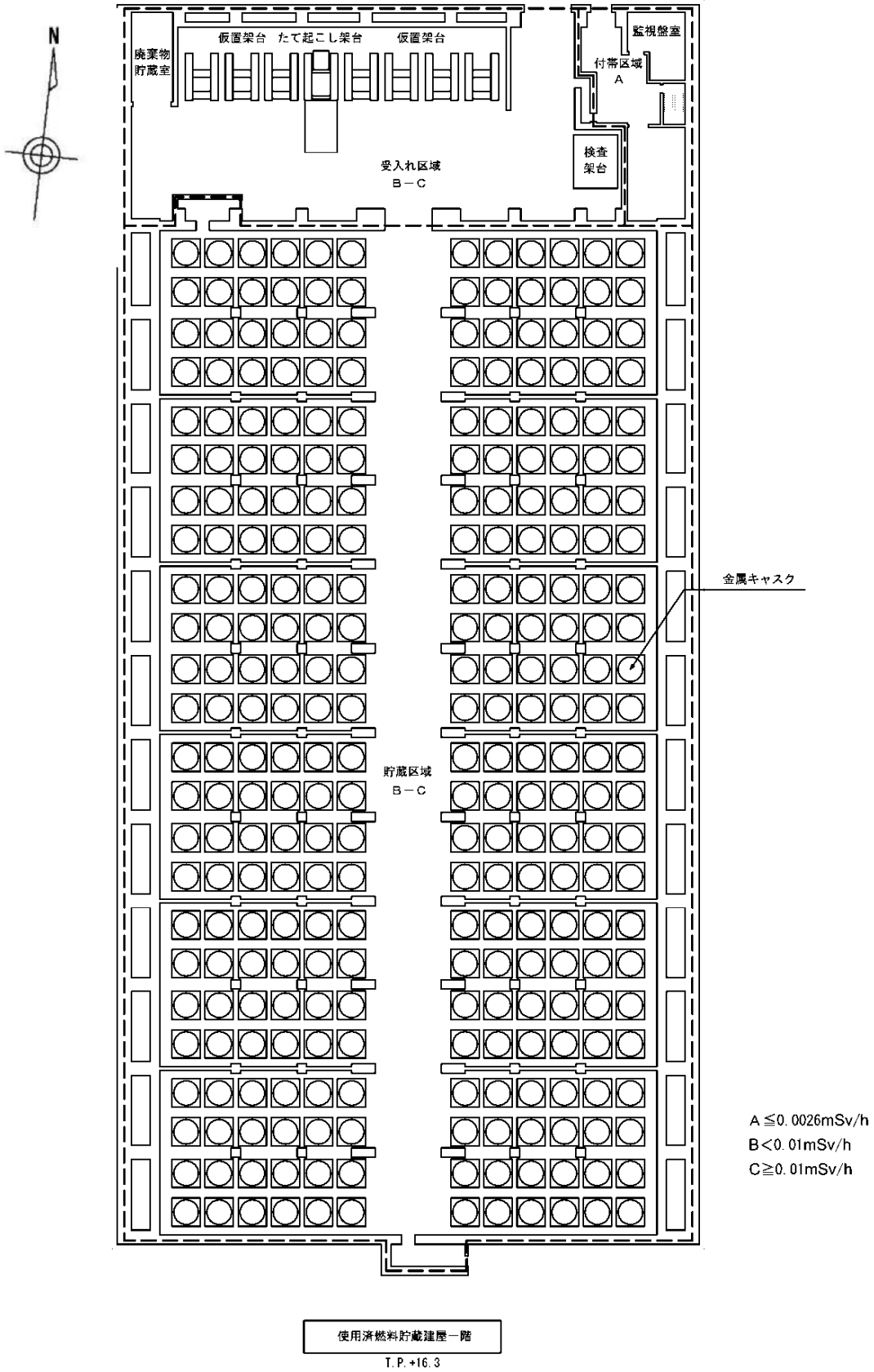
※　外部放射線に係る線量が1.3mSv/3月間を超える区域を管理区域として設定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第２表　遮蔽設備の主要仕様

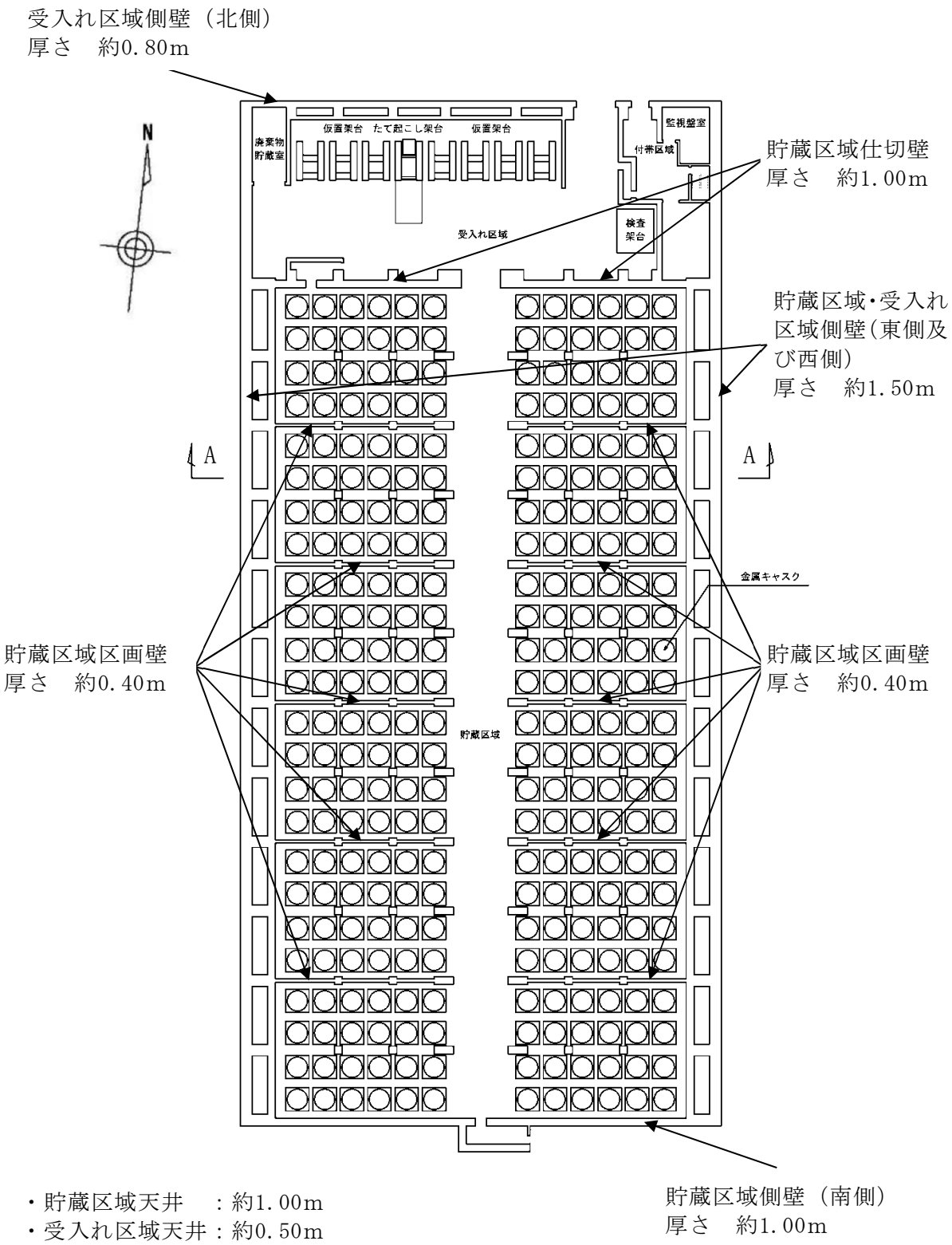
	主要仕様	
遮蔽壁	厚さ	約1.50ｍ（貯蔵区域側壁（東側及び西側））
		約1.00ｍ（貯蔵区域側壁（南側）及び天井）
		約1.50ｍ（受入れ区域側壁（東側及び西側））
		約0.80ｍ（受入れ区域側壁（北側））
		約0.50ｍ（受入れ区域天井）
		約0.40ｍ（貯蔵区域区画壁）
		約1.00ｍ（貯蔵区域仕切壁）
	材料	コンクリート
遮蔽ルーバ	厚さ	約 0.32ｍ
	長さ	約 4.00ｍ
	枚数	５枚
	材料	コンクリート

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



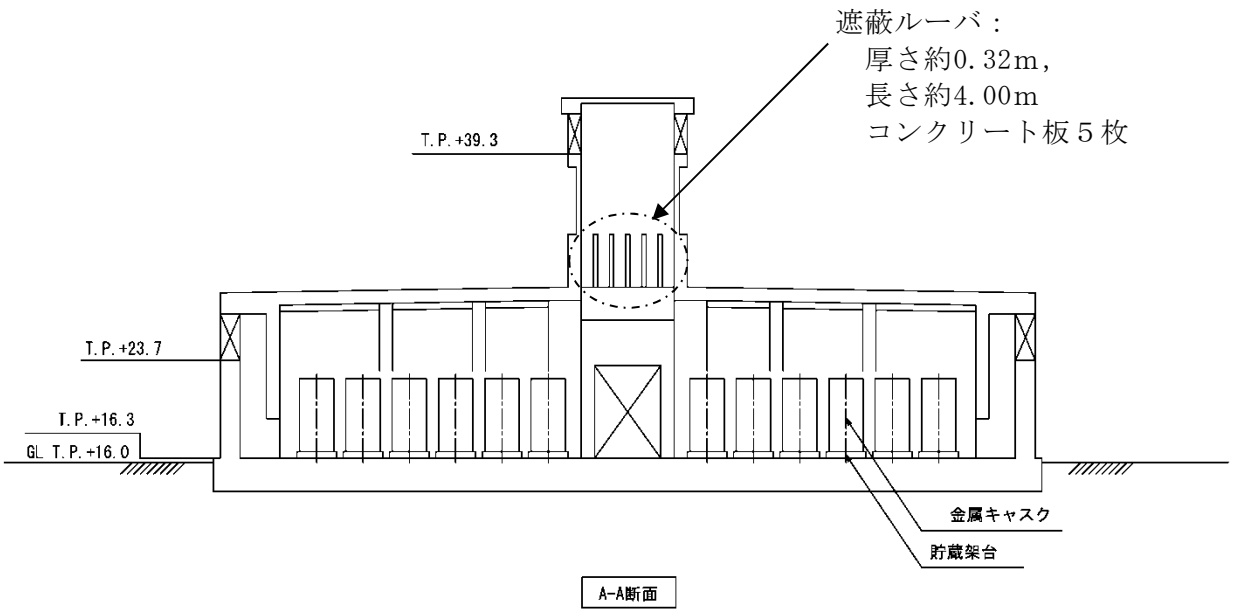
第１図　遮蔽設計区分概略図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第２図(1)　遮蔽設備（遮蔽壁）の主要仕様

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第２図(2)　遮蔽設備（遮蔽ルーバ）の主要仕様

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１

遮蔽設計に用いる線源と評価結果

1.　金属キャスクの表面エネルギスペクトル（添付１参照）

解析に使用する金属キャスクの表面エネルギスペクトルについては，（財）原子力安全研究協会にて，使用済燃料貯蔵施設（金属キャスク方式）における線量評価用の表面エネルギスペクトル（以下「包絡スペクトル」という。）を，ＢＷＲ燃料用金属キャスク 10 種類，ＰＷＲ燃料用金属キャスク４種類の設計から得られたガンマ線及び中性子線のそれぞれの表面エネルギスペクトルに対して保守的な線量評価を与えるように作成している。本施設で使用する予定の金属キャスクと包絡スペクトルの関係を添付 1-2 図に示す。各キャスクの表面エネルギスペクトルと包絡スペクトルについてコンクリート透過率を求めたところ，包絡スペクトルは全ての設計スペクトルに対してコンクリート透過率が高いことを確認した。

2.　金属キャスクの線量当量率（添付２参照）

本施設にて使用する金属キャスクは全て輸送貯蔵兼用であることから，輸送時の線量当量率の基準を満足する。輸送時の線量当量率は金属キャスクから１ｍの距離において 100μSv/h 以下と定められていることから，線源条件として設定している金属キャスクの各面の平均が 100μSv/h と規格化したものを採用している。線源条件として設定している金属キャスクの線量分布と，本施設で使用する金属キャスクの線量当量率分布を添付 2-2 図に示す。いずれも線源条件として設定している金属キャスクの方が高い値となっている。

3.　敷地境界における線量評価結果（添付３参照）

金属キャスクの線源条件の保守性の評価のために，敷地境界（添付 3-6 図の３地点）における線量について評価したものを以下に示す。

・ケースＡ：現行評価。（包絡スペクトルを表面から１ｍの位置で 100μSv/h に規格化）

・ケースＢ：過去に検討した金属キャスク（以下「模擬キャスク」という。）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

から得られた表面エネルギスペクトルを使用。

・ケースＣ：模擬スペクトルの表面エネルギスペクトルを使用し，かつ線量当量率分布を考慮。

各々の地点での評価結果（添付 3-2 表）をケースＡとケースＢで比較した結果から，包絡スペクトルは中性子で１.2～1.4 倍，ガンマ線で 1.7～2.2 倍程度保守側の評価となっていることを確認した。

また，ケースＡとケースＣで比較した結果から，現行評価は表面エネルギスペクトルと線量当量率分布の点から，8～13 倍程度保守側評価となっていることを確認した。

別添 1－1 表　各々評価結果とケースＡの比較

	ケースＢとの比較 （表面エネルギスペクトルのみ考慮。）	ケースＣ （表面エネルギスペクトルと線量当量率分布を考慮。）
中性子線	１．２ ～ １．４	８．３ ～ １３．９ （ケースＡは中性子100％の結果）
ガンマ線	１．７ ～ ２．２	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付１

金属キャスク表面のエネルギスペクトルについて

1.　基本的考え方

本施設では，設計の異なる複数タイプの金属キャスクを使用する。また，金属キャスクは，鉄筋コンクリート造の貯蔵建屋内で貯蔵することから，金属キャスク表面のエネルギスペクトルの違い及びそれぞれのコンクリートの透過率を考慮する必要がある。

よって，本評価で使用する金属キャスク表面のエネルギスペクトルには，金属キャスク設計から得られた表面エネルギスペクトル（以下「設計スペクトル」という。）に比べ，コンクリートの透過率が高いものを設定する。

2.　選定及び妥当性評価

(1)　選定及び評価

原子力安全研究協会では，使用済燃料中間貯蔵施設（金属キャスク方式）における線量評価用の表面エネルギスペクトル（以下「包絡スペクトル」という。）を作成している。包絡スペクトルは，BWR 燃料用金属キャスク 10 種類，PWR 燃料用金属キャスク４種類の設計から得られたガンマ線及び中性子のそれぞれの表面エネルギスペクトルに対して，保守的な線量評価結果を与えるように作成されたものである。

本施設の線量評価において，包絡スペクトルを使用することにより，敷地境界外の線量を保守的に評価できるかどうかを確認するため，包絡スペクトル及び設計スペクトルそれぞれのコンクリート中における実効線量率の減衰割合を評価した。

包絡スペクトル作成方法及びコンクリート中の実効線量率減衰割合の評価方法を以下に示す。

ａ．包絡スペクトル作成方法

(a)　収納燃料仕様

○BWR 用燃料：STEPⅠ，STEPⅡ

・燃焼度（最大／平均）STEPⅠ：40,000MWd/t／33,000MWd/t

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

STEPⅡ：50,000MWd/t／45,000MWd/t

・冷却期間　10年

○PWR用燃料：STEPⅡ

・燃焼度（最大／平均）　55,000MWd/t／50,000MWd/t

・冷却期間　10年

(b)　ガンマ線包絡スペクトル

一次元輸送コードANISN用群定数断面積DLC23/Fのエネルギ群（1群～18群）のそれぞれのスペクトル強度を以下の通り設定する。

・高エネルギ側の1群のスペクトル強度を0.01，2群から8群までのスペクトル強度を0.1として，遮蔽コンクリートの減衰効果に寄与が大きいと考えられる，1群から8群までモデルキャスクのスペクトル強度を包絡し，残りの9群以下のエネルギ強度を1～18群全体の「スペクトル強度×エネルギ強度」を1に規格化するよう0.164とする（添付1-1表，添付1-1図参照）。

(c)　中性子包絡スペクトル

燃料の燃焼終了直後において中性子源として支配的な $^{242}Cm(\alpha,n)$反応による中性子のエネルギスペクトルとする。

(2)　コンクリート中の実効線量率減衰割合の評価方法

・包絡スペクトル及び設計スペクトルを用いて，表面から1ｍの位置で100μSv/hに規格化した線源から放出されるガンマ線，中性子を無限平板（コンクリート厚さ180cm）のコンクリートに垂直入射する。コンクリートの組成は，建屋コンクリートの組成を使用する。

・コンクリート中での実効線量率の減衰率を1次元輸送計算コード（ANISN）により計算する。

(3)　妥当性評価結果

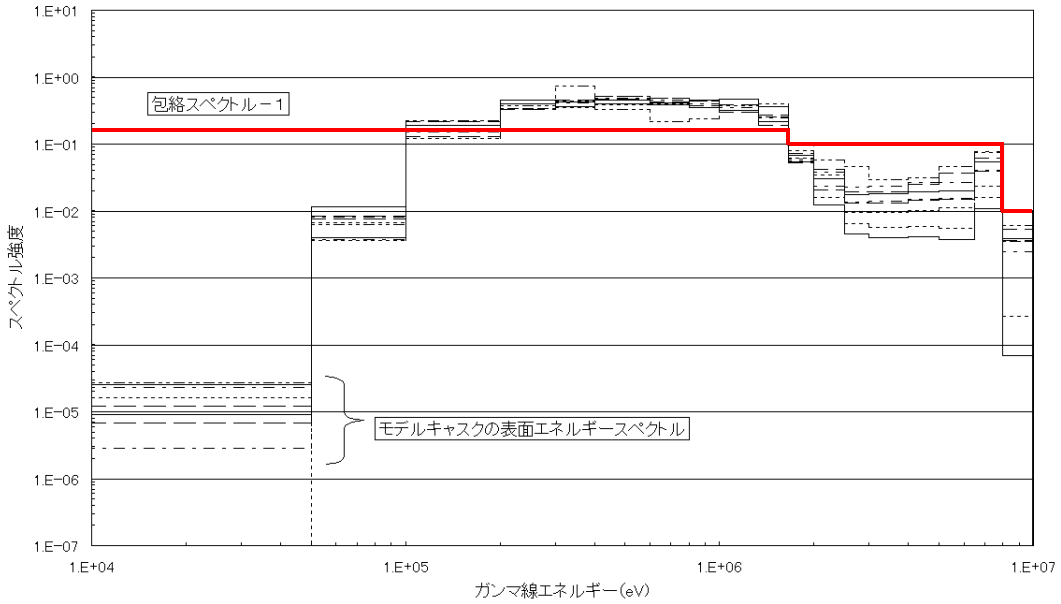
評価の結果，包絡スペクトルは，全ての設計スペクトルに比べ，コンクリートの透過率が高いことを確認している。包絡スペクトル及び設計スペクトルのガンマ線，中性子スペクトル分布を添付1-2図に，コンクリート中の実効線量率減衰比（側部中央）を添付1-3図，1-4図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-1 表　ガンマ線包絡スペクトル

エネルギ群	エネルギ(MeV)		スペクトル（1／ΔU）	レサジー幅 ΔU	スペクトル
	上限	下限			
1	1.00E+07	8.00E+06	1.0000E-02	0.2231	2.231E-03
2	8.00E+06	6.50E+06	1.0000E-01	0.2076	2.076E-02
3	6.50E+06	5.00E+06	1.0000E-01	0.2624	2.624E-02
4	5.00E+06	4.00E+06	1.0000E-01	0.2231	2.231E-02
5	4.00E+06	3.00E+06	1.0000E-01	0.2877	2.877E-02
6	3.00E+06	2.50E+06	1.0000E-01	0.1823	1.823E-02
7	2.50E+06	2.00E+06	1.0000E-01	0.2231	2.231E-02
8	2.00E+06	1.66E+06	1.0000E-01	0.1863	1.863E-02
9	1.66E+06	1.33E+06	1.6442E-01	0.2216	3.644E-02
10	1.33E+06	1.00E+06	1.6442E-01	0.2852	4.689E-02
11	1.00E+06	8.00E+05	1.6442E-01	0.2231	3.669E-02
12	8.00E+05	6.00E+05	1.6442E-01	0.2877	4.730E-02
13	6.00E+05	4.00E+05	1.6442E-01	0.4055	6.667E-02
14	4.00E+05	3.00E+05	1.6442E-01	0.2877	4.730E-02
15	3.00E+05	2.00E+05	1.6442E-01	0.4055	6.667E-02
16	2.00E+05	1.00E+05	1.6442E-01	0.6931	1.140E-01
17	1.00E+05	5.00E+04	1.6442E-01	0.6931	1.140E-01
18	5.00E+04	1.00E+04	1.6442E-01	1.6094	2.646E-01
					1.000E+00

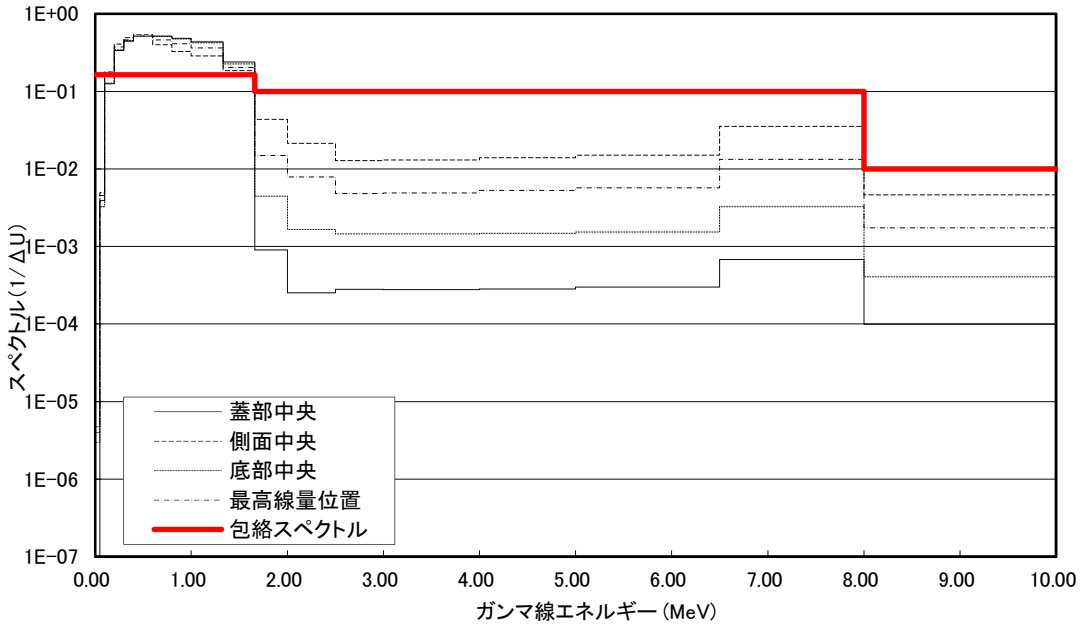
注：ANISN 用群定数断面積 DLC23/F を使用



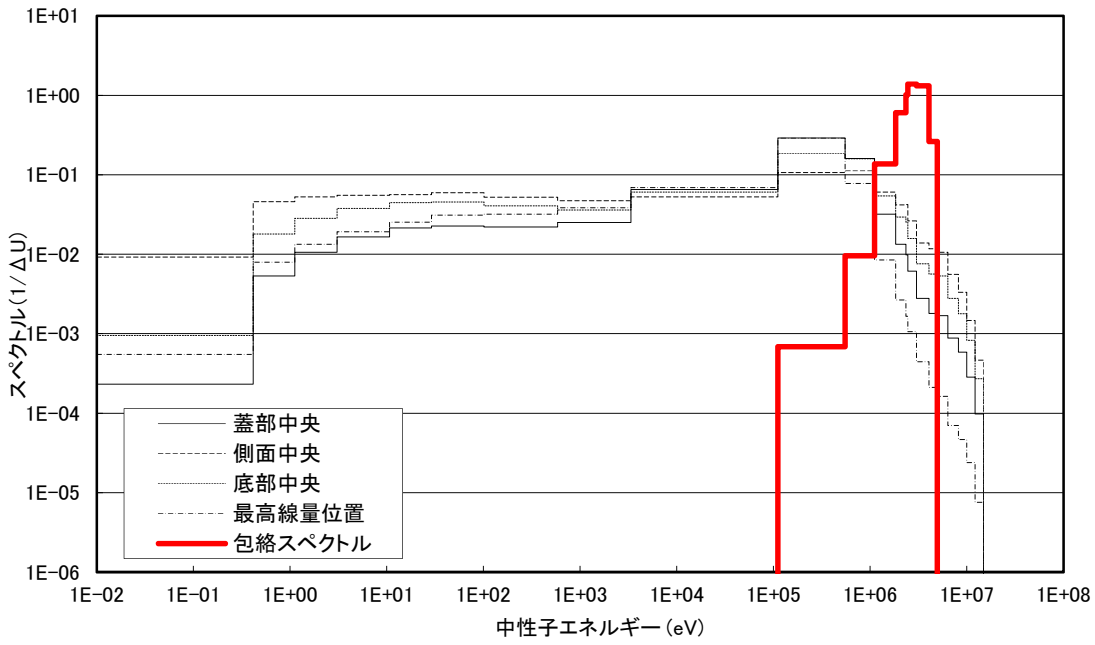
添付 1-1 図　ガンマ線スペクトル分布図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

（ガンマ線）



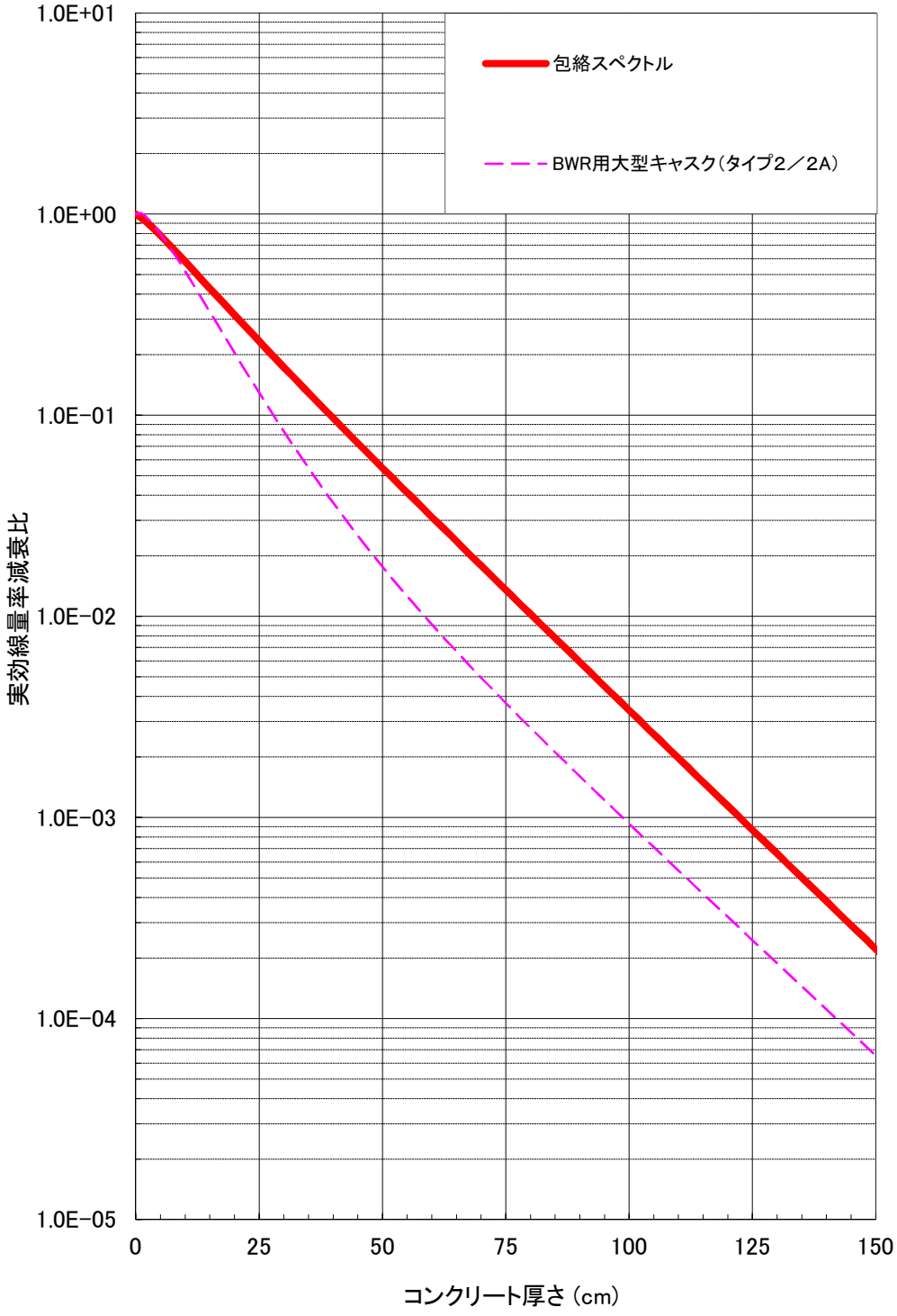
（中性子）



添付 1-2 図　包絡スペクトル，設計スペクトル分布図

（BWR 用大型キャスク（タイプ２／２Ａ））

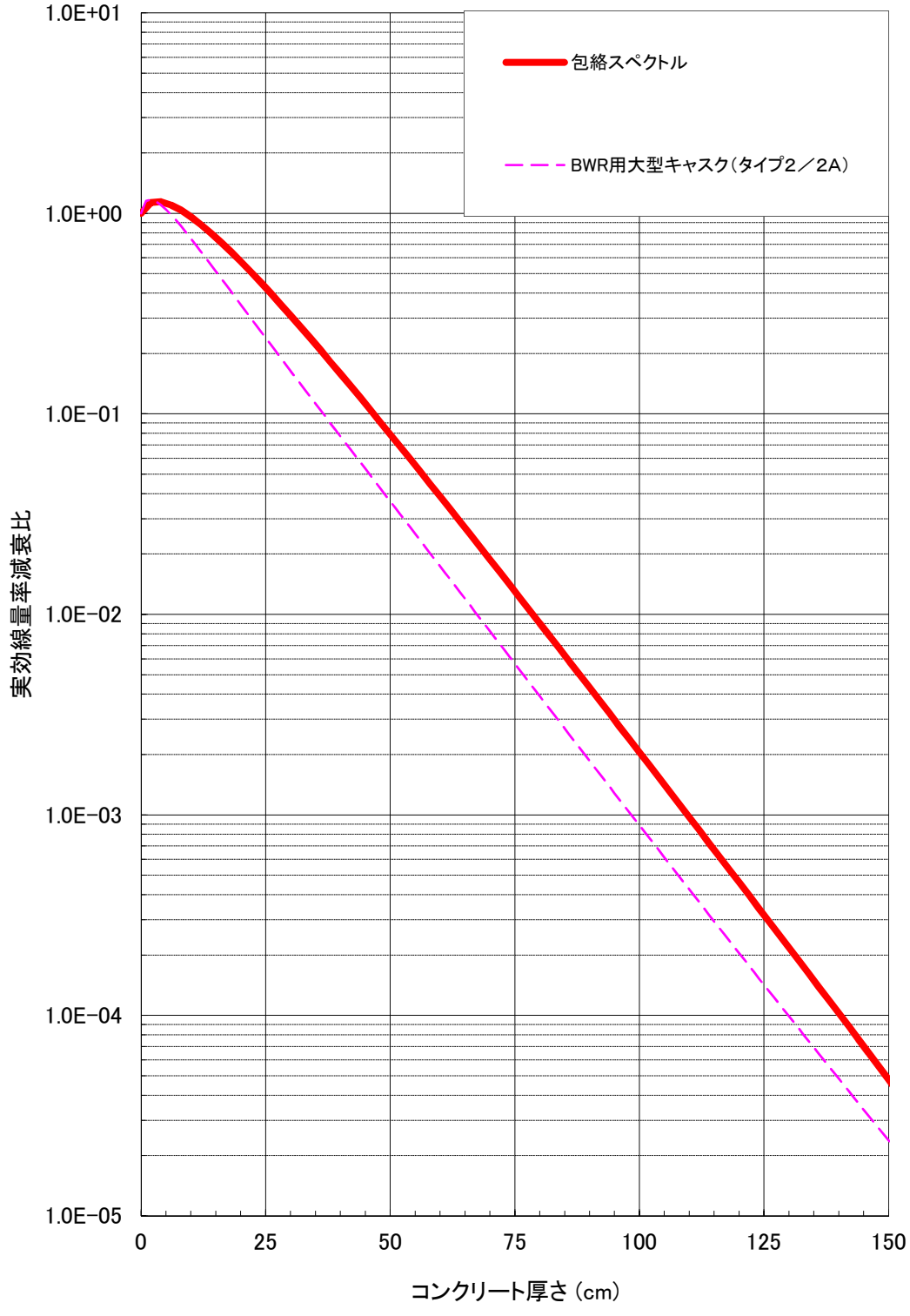
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 1-3 図　コンクリート中のガンマ線の実効線量率減衰比

（注）コンクリート表面から厚さ 5cm 程度の範囲では，ガンマ線の後方散乱の影響により，線量が増加する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 1-4 図　コンクリート中の中性子線の実効線量率減衰比

（注）コンクリート表面から厚さ 5cm 程度の範囲では，中性子の後方散乱の影響により，線量が増加する。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

金属キャスクの線量当量率について

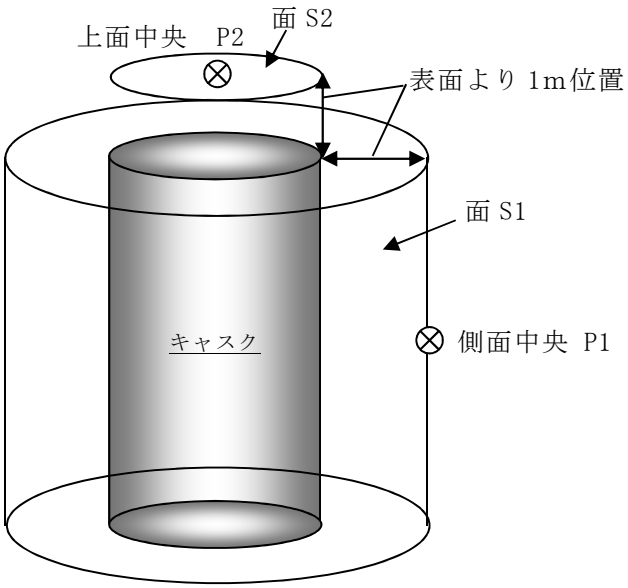
1.　基本的考え方

本施設にて使用する金属キャスクは，全て輸送貯蔵兼用の容器であり，輸送時の線量当量率の基準を満足する。よって，本評価では，本施設にて使用する全ての金属キャスクの線量条件を包絡するよう，金属キャスクの線量当量率を表面から１ｍの位置において 100μSv/h となるように規格化する。

2.　線量当量率の規格化の方法

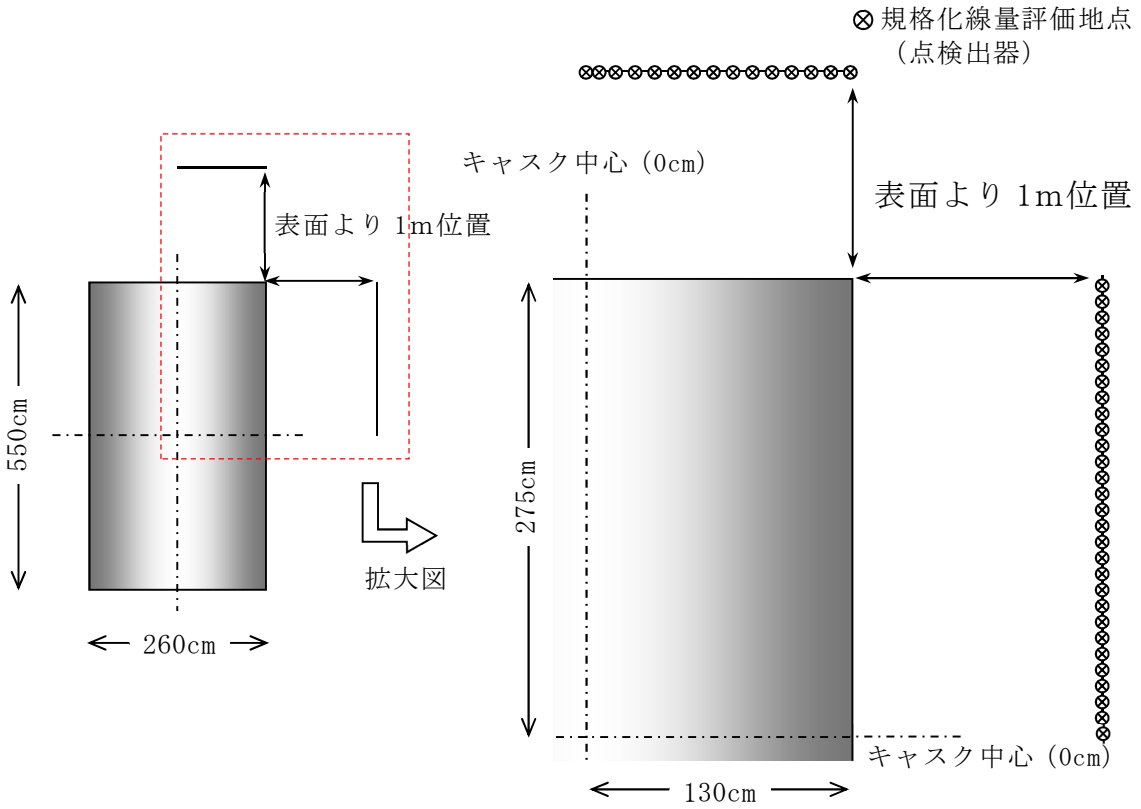
金属キャスクの線量当量率は，添付 2-1 図に示すとおり，金属キャスク側面より 1m位置における円筒側面を S1，キャスク上面より 1m位置における円盤を S2（下面は上面と対称）とし，各面の平均が 100μSv/h となるように規格化（以下「規格化線量」という。）する。この規格化線量は，基準値である 100μSv/h に比べ側面中央点 P1 で約 10%，上面中央点 P2 で約 20%保守側の設定となっている。

本評価の線源条件として設定している金属キャスクの規格化線量の分布と，本施設で使用する金属キャスクの線量当量率の分布を添付 2-2 図に示す。

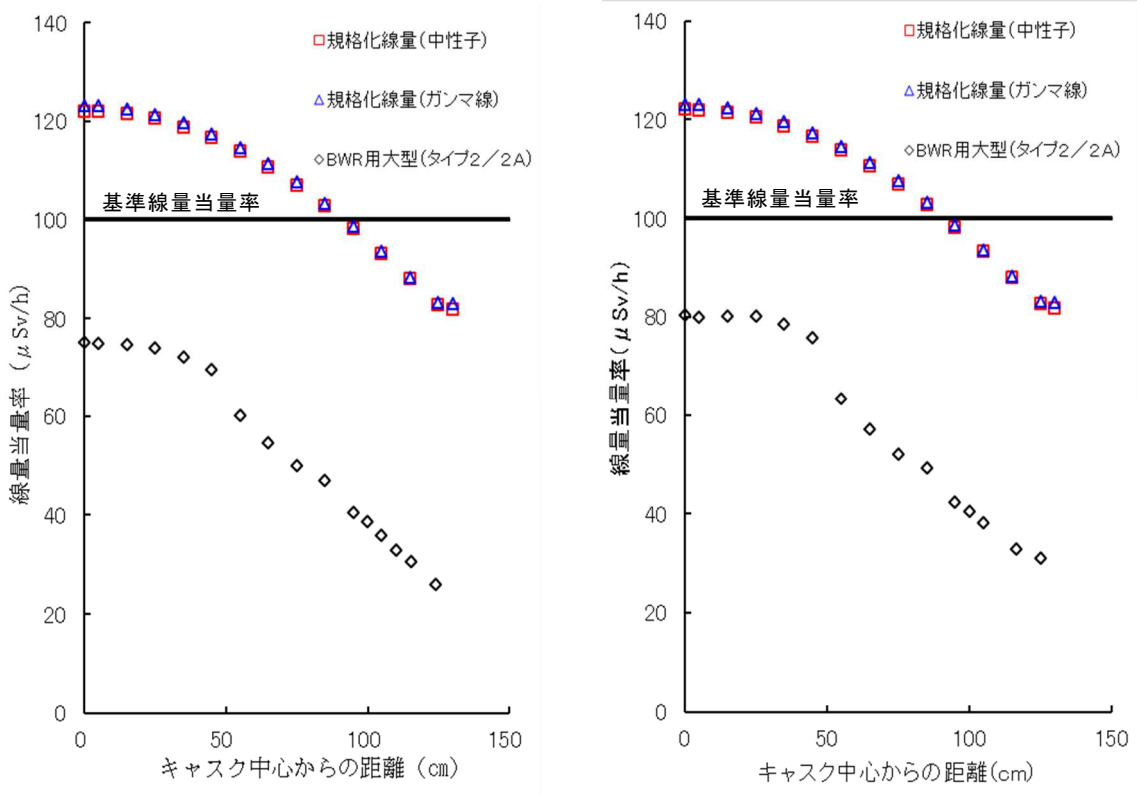


添付 2-1 図．キャスク表面線量の規格化のイメージ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



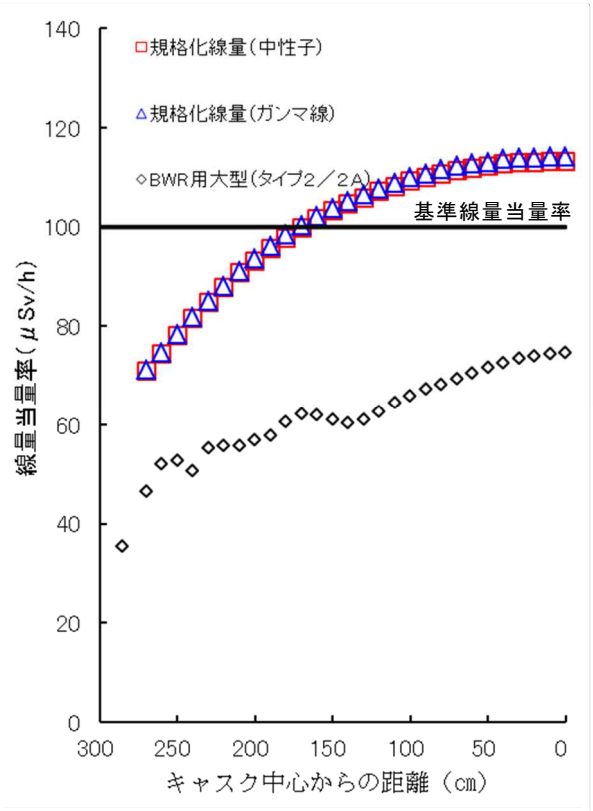
（規格化線量の計算位置）



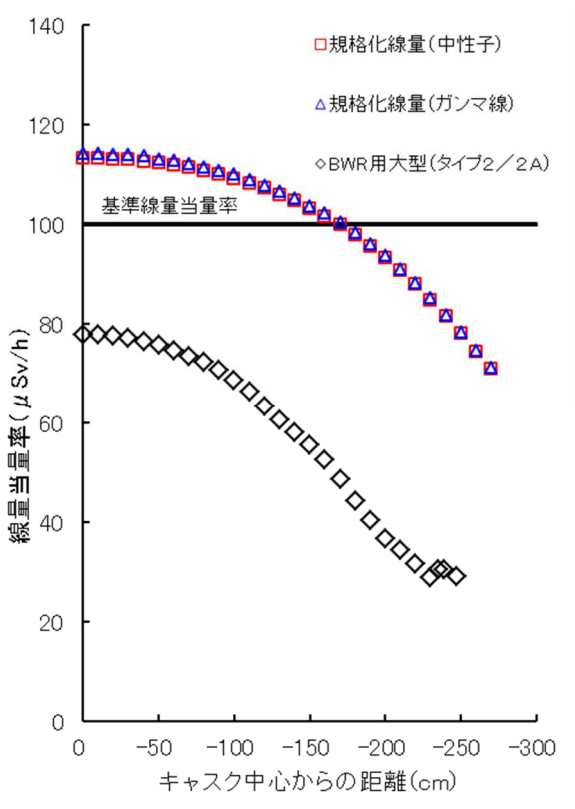
（蓋　部）　　（底　部）

添付 2-2 図(1)　金属キャスク表面から 1m位置での線量当量率分布

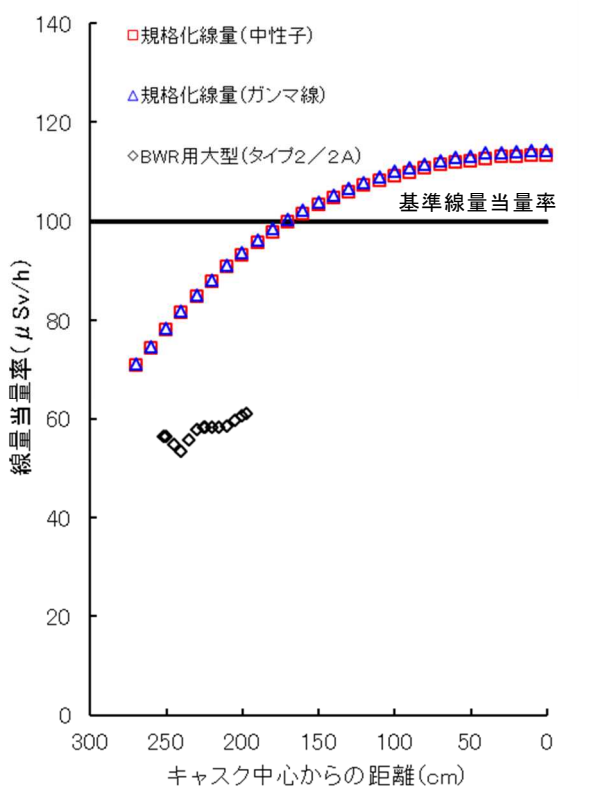
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



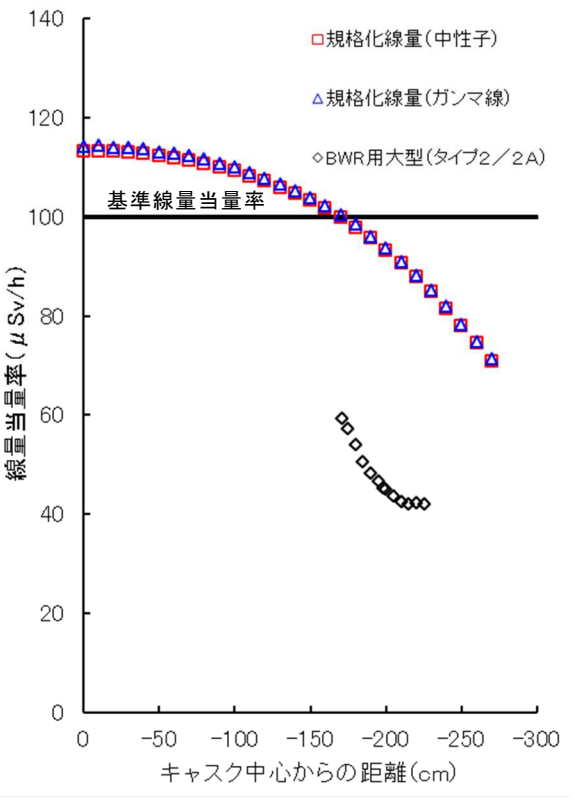
（側部上端）



（側部下端）



（上部トラニオン部）



（下部トラニオン部）

添付 2-2 図(2)　金属キャスク表面から１ｍ位置での線量当量率分布

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付３

金属キャスク線源条件の保守性について

金属キャスクの線源条件の裕度を確認するため，過去に検討した金属キャスク（以下「模擬キャスク」という。）の設計から得られたエネルギスペクトル及び線量当量率を用いて，敷地境界外における一般公衆の線量評価を実施した。

なお,本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に行ったものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

1. 評価条件

(1) 評価ケース，条件

包絡スペクトルの裕度の確認及び線源条件全体の裕度の確認を行うため，模擬キャスク設計（BWR（STEP Ⅰ）用，69 体収納）を用いて，以下の３ケースの評価を行う。

（評価ケース）

・ケースＡ：現行評価と同一条件

・ケースＢ：模擬キャスクの設計から得られた表面エネルギスペクトルを使用（スペクトル以外は，現行評価と同一条件）

・ケースＣ：模擬キャスクの設計から得られた表面エネルギスペクトルを使用，線量当量率分布を考慮

解析コード，ライブラリ，評価モデル構造材組成等は，現行評価と同一とする。

評価ケースそれぞれの評価条件を添付 3－1 表に,模擬キャスクの評価モデルを添付 3－1 図,模擬キャスク設計から得られた表面エネルギスペクトルのコンクリート中における実効線量率の減衰割合を添付 3－2 図，添付 3－3 図に示す。また，貯蔵建屋モデルを添付 3－4 図，添付 3－5 図に示す。

(2) 計算地点

計算地点は，貯蔵建屋貯蔵区域を中心として直角東方向 190m（現行評価では 170m），直角北方向 230m，直角南方向 240mの３地点とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

線量の計算地点を添付 3－6 図に示す。

2. 評価結果

評価ケースそれぞれの評価結果を添付 3－2 表に，評価結果の比較を添付 3-3 表に示す。ケースＡとケースＢとの評価結果の比較により，包絡スペクトルは，中性子の場合で 1.2～1.4 倍，ガンマ線の場合で 1.7～2.2 倍程度保守側の評価結果を得ることができることを確認した。また，ケースＡ（中性子 100%）とケースＣの比較により，金属キャスクの線源条件は，模擬キャスクに比べ，8 倍～13 倍程度保守側の評価結果を得ることができることを確認した。

以上より，平常時における一般公衆の線量評価に使用している金属キャスクの評価線質，線源強度（表面エネルギスペクトル，線量当量率）は，十分な保守性を有しており，線源条件として妥当なものと考える。

添付 3-1 表　評価ケース

	ケースＡ	ケースＢ	ケースＣ
表面エネルギスペクトル	包絡スペクトル（現行評価と同一）	模擬キャスク設計から得られたスペクトル	模擬キャスク設計から得られたスペクトル
線量当量率	表面から 1m位置において 100μSv/h に規格化（現行評価と同一）	表面から 1ｍ位置において 100 μSv/h に規格化（現行評価と同一）	模擬キャスク設計から得られた線量当量率分布を考慮
キャスクモデル	φ2.6m×5.5m（現行評価と同一）	φ2.6m×5.5m（現行評価と同一）	φ2.512m×5.389m（模擬キャスク寸法を使用）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 3-2 表(1)　ケースＡの評価結果

評価位置	線源	評価線質	バルク線量 (μSv/y)		ストリーミング線量(μSv/y)				小計 1) (μSv/y)	合計 1) (μSv/y)
					給気口		排気口			
			平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD		
貯蔵区域から直角東方向（190m）	中性子100%	中性子	6.5	0.0450	4.0	0.0424	12.0	0.0523	22.5	**25.0**
		2次ガンマ線	1.0	0.0310	0.6	0.0646	0.9	0.0748	2.5	
	ガンマ線100%	ガンマ線	5.4	0.0410	1.0	0.0407	0.3	0.0777	6.7	**6.7**
貯蔵区域から直角北方向（230m）	中性子100%	中性子	3.3	0.0418	0.8	0.0758	4.9	0.0413	8.9	**9.4**
		2次ガンマ線	0.3	0.0450	0.04	0.0896	0.2	0.0761	0.5	
	ガンマ線100%	ガンマ線	0.8	0.0370	0.01	0.0501	0.2	0.0717	0.9	**0.9**
貯蔵区域から直角南方向（240m）	中性子100%	中性子	5.6	0.0382	0.7	0.0794	4.8	0.0752	10.9	**12.5**
		2次ガンマ線	1.4	0.0179	0.03	0.0490	0.3	0.0438	1.7	
	ガンマ線100%	ガンマ線	7.6	0.0259	0.01	0.0409	0.2	0.0437	7.7	**7.7**

1)　小計，合計値は丸め誤差により表数値合計と一致しない場合がある

（注）本評価は平成19年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 3-2 表(2)　ケースＢの評価結果

評価位置	線源	評価線質	バルク線量（μSv/y）		ストリーミング線量（μSv/y）				小計 1)（μSv/y）	合計 1)（μSv/y）
					給気口		排気口			
			平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD		
貯蔵区域から直角東方向（190m）	中性子100%	中性子	2.0	0.0672	3.3	0.0882	9.6	0.0903	14.9	**20.1**
		2次ガンマ線	1.6	0.0421	1.3	0.0598	2.3	0.0525	5.1	
	ガンマ線100%	ガンマ線	2.4	0.0475	0.4	0.0595	0.3	0.0378	3.2	**3.2**
貯蔵区域から直角北方向（230m）	中性子100%	中性子	0.9	0.0534	0.6	0.0860	3.9	0.0975	5.4	**6.3**
		2次ガンマ線	0.4	0.0507	0.1	0.1665	0.4	0.0771	0.9	
	ガンマ線100%	ガンマ線	0.3	0.0411	0.01	0.0594	0.1	0.0754	0.5	**0.5**
貯蔵区域から直角南方向（240m）	中性子100%	中性子	1.7	0.0471	0.6	0.0952	4.0	0.0911	6.2	**9.3**
		2次ガンマ線	2.5	0.0206	0.09	0.1278	0.5	0.0479	3.1	
	ガンマ線100%	ガンマ線	3.3	0.0211	0.01	0.0660	0.1	0.0576	3.4	**3.4**

1)　小計，合計値は丸め誤差により表数値合計と一致しない場合がある

（注）本評価は平成19年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 3-2 表(3)　ケースＣの評価結果

評価位置	線源	評価線質	バルク線量 (μSv/y)		ストリーミング線量(μSv/y)				小計 1) (μSv/y)	合計 1) (μSv/y)
					給気口		排気口			
			平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD		
貯蔵区域から直角東方向（190m）	中性子	中性子	0.1	0.0875	0.4	0.0966	0.9	0.0811	1.4	**2.8**
		2次ガンマ線	0.2	0.0132	0.2	0.0479	0.4	0.0657	0.8	
	ガンマ線	ガンマ線	0.5	0.0105	0.05	0.0285	0.07	0.0340	0.6	
貯蔵区域から直角北方向（230m）	中性子	中性子	0.03	0.0646	0.09	0.0874	0.4	0.0656	0.5	**0.7**
		2次ガンマ線	0.04	0.0545	0.02	0.0808	0.07	0.0770	0.1	
	ガンマ線	ガンマ線	0.04	0.0325	0.003	0.0241	0.02	0.0426	0.06	
貯蔵区域から直角南方向（240m）	中性子	中性子	0.09	0.0742	0.08	0.0583	0.4	0.0698	0.5	**1.5**
		2次ガンマ線	0.3	0.0164	0.01	0.0382	0.08	0.0973	0.4	
	ガンマ線	ガンマ線	0.5	0.0074	0.003	0.0292	0.02	0.0272	0.6	

1)　小計，合計値は丸め誤差により表数値合計と一致しない場合がある

（注）本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 3-3 表(1)　評価結果の比較（ケースＡ／ケースＢ）

評価位置	線源	評価線質	バルク線量比		ストリーミング線量比				合計線量比	
					給気口		排気口			
			各線質	合計	各線質	合計	各線質	合計	各線質	合計
貯蔵区域から直角東方向（190m）	中性子100%	中性子	3.31	2.11	1.21	1.01	1.25	1.09	1.51	**1.25**
		2次ガンマ線	0.61		0.49		0.41		0.49	
	ガンマ線100%	ガンマ線	2.20		2.33		0.90		**2.08**	
貯蔵区域から直角北方向（230m）	中性子100%	中性子	3.48	2.76	1.39	1.23	1.24	1.16	1.65	**1.49**
		2次ガンマ線	0.81		0.38		0.39		0.56	
	ガンマ線100%	ガンマ線	2.21		1.09		0.76		**1.76**	
貯蔵区域から直角南方向（240m）	中性子100%	中性子	3.33	1.68	1.05	0.96	1.18	1.09	1.74	**1.34**
		2次ガンマ線	0.57		0.35		0.42		0.53	
	ガンマ線100%	ガンマ線	2.30		1.09		0.94		**2.25**	

（注）本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

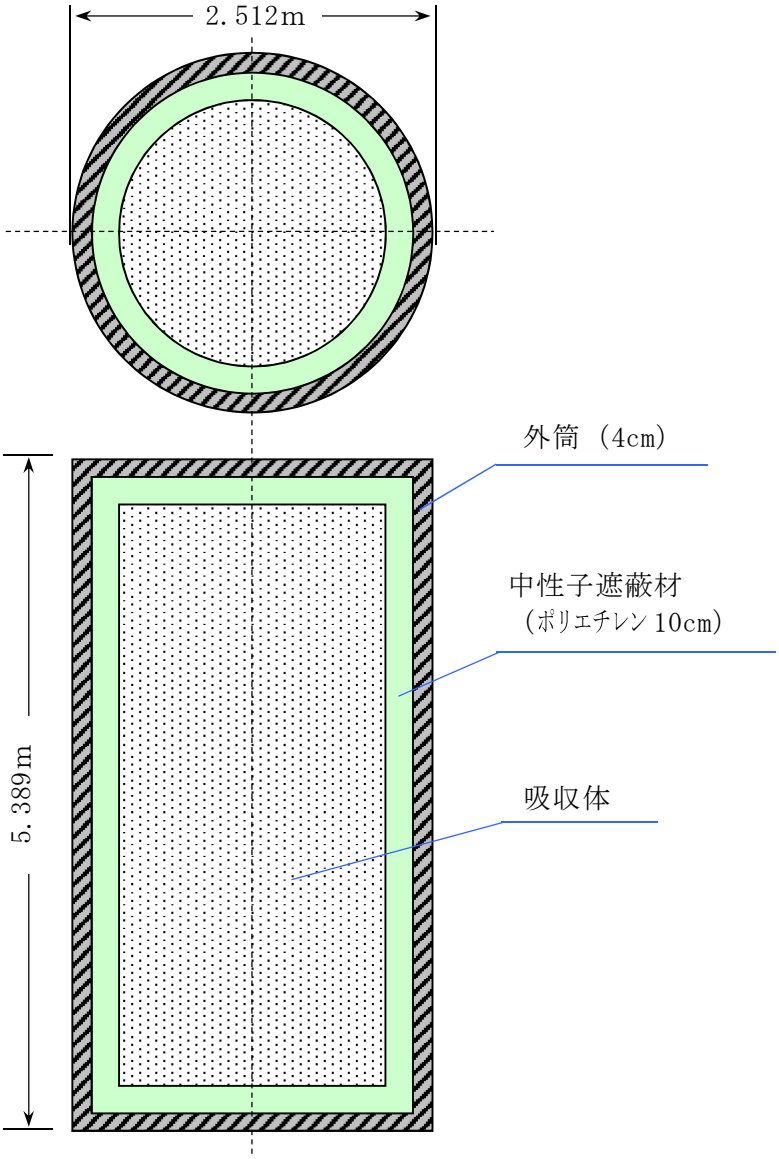
添付 3-3 表(2)　評価結果の比較（ケースＡ／ケースＣ）

評価位置	バルク線量比	ストリーミング線量比		合計線量比
		給気口	排気口	
貯蔵区域から直角東方向（190m）	9.1	6.7	10.2	**9.0**
貯蔵区域から直角北方向（230m）	32.2	7.3	11.1	**13.9**
貯蔵区域から直角南方向（240m）	7.3	6.9	10.4	**8.3**

ケースＡ（中性子 100％の結果），ケースＣ（中性子＋ガンマ線の合計値）

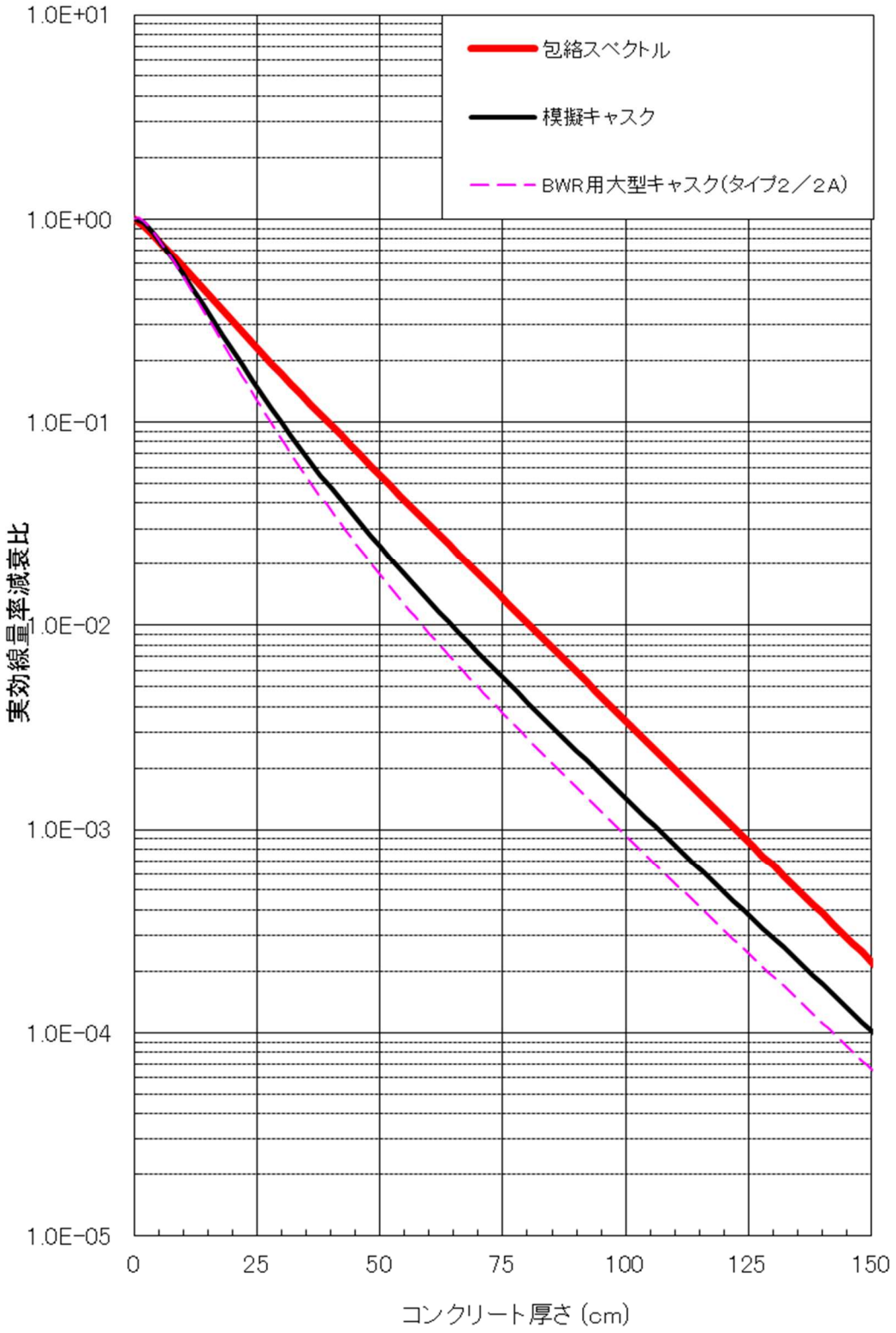
（注）本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



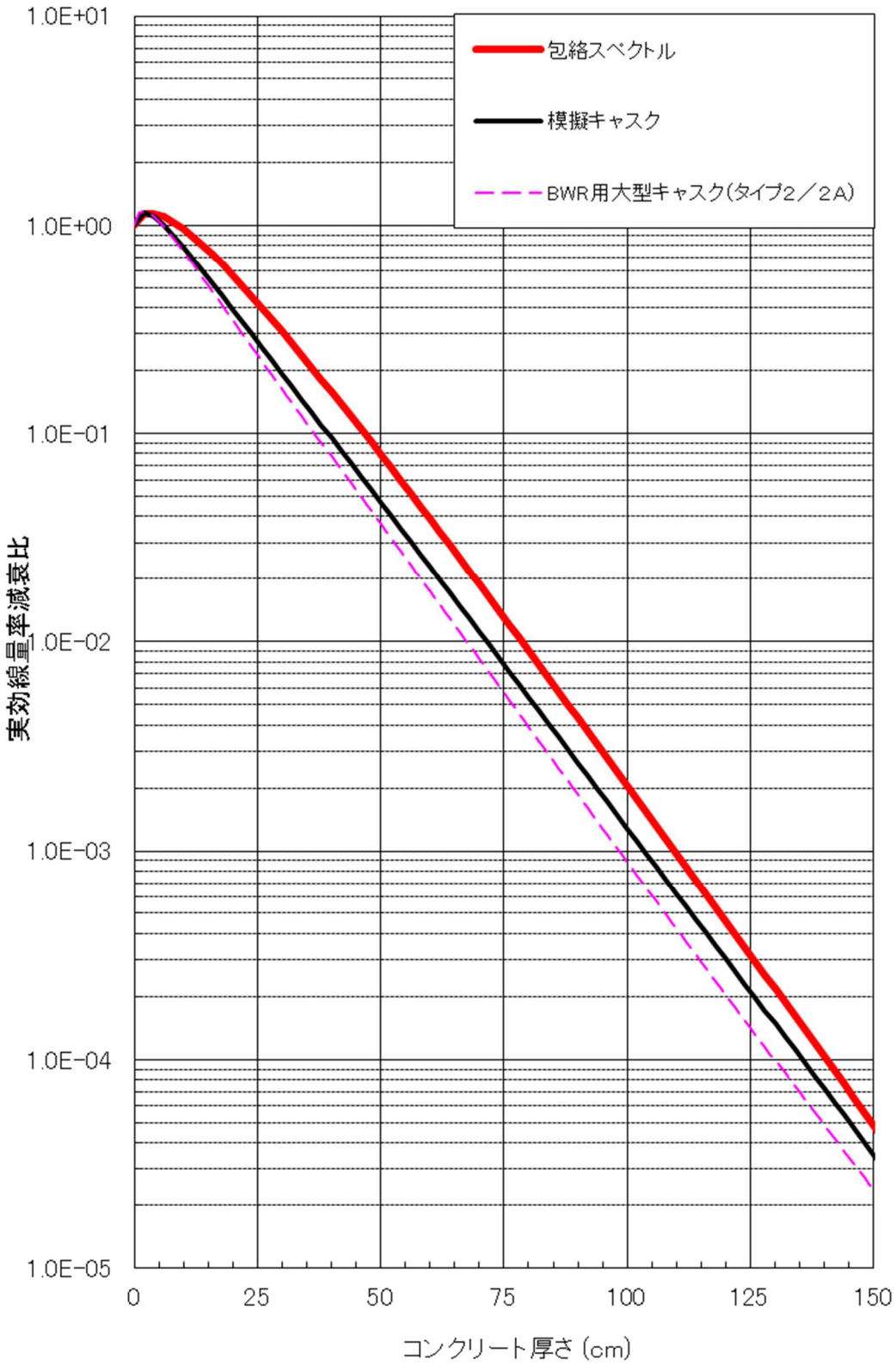
添付 3-1 図　模擬キャスクモデル（ケースＣの評価で使用）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 3－2 図　コンクリート中の線量減衰割合（ガンマ線）

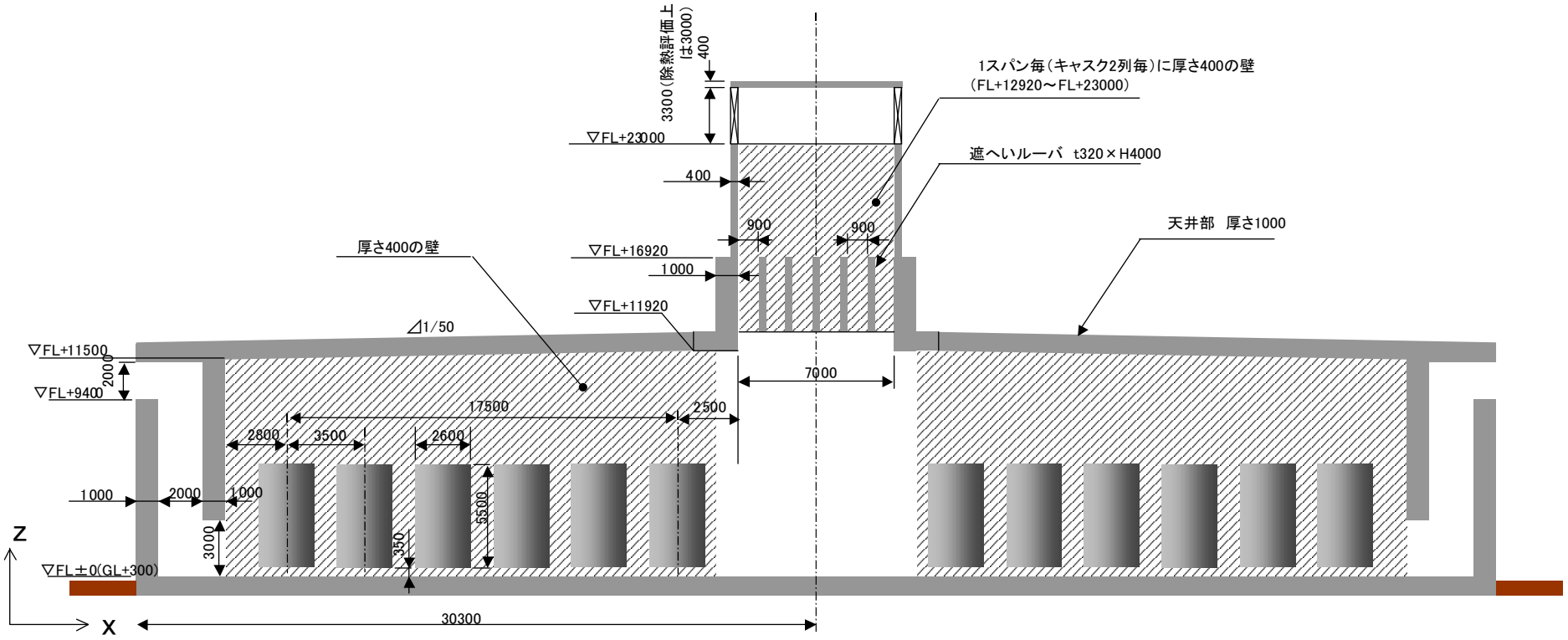
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 3－3 図　コンクリート中の線量減衰割合（中性子）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

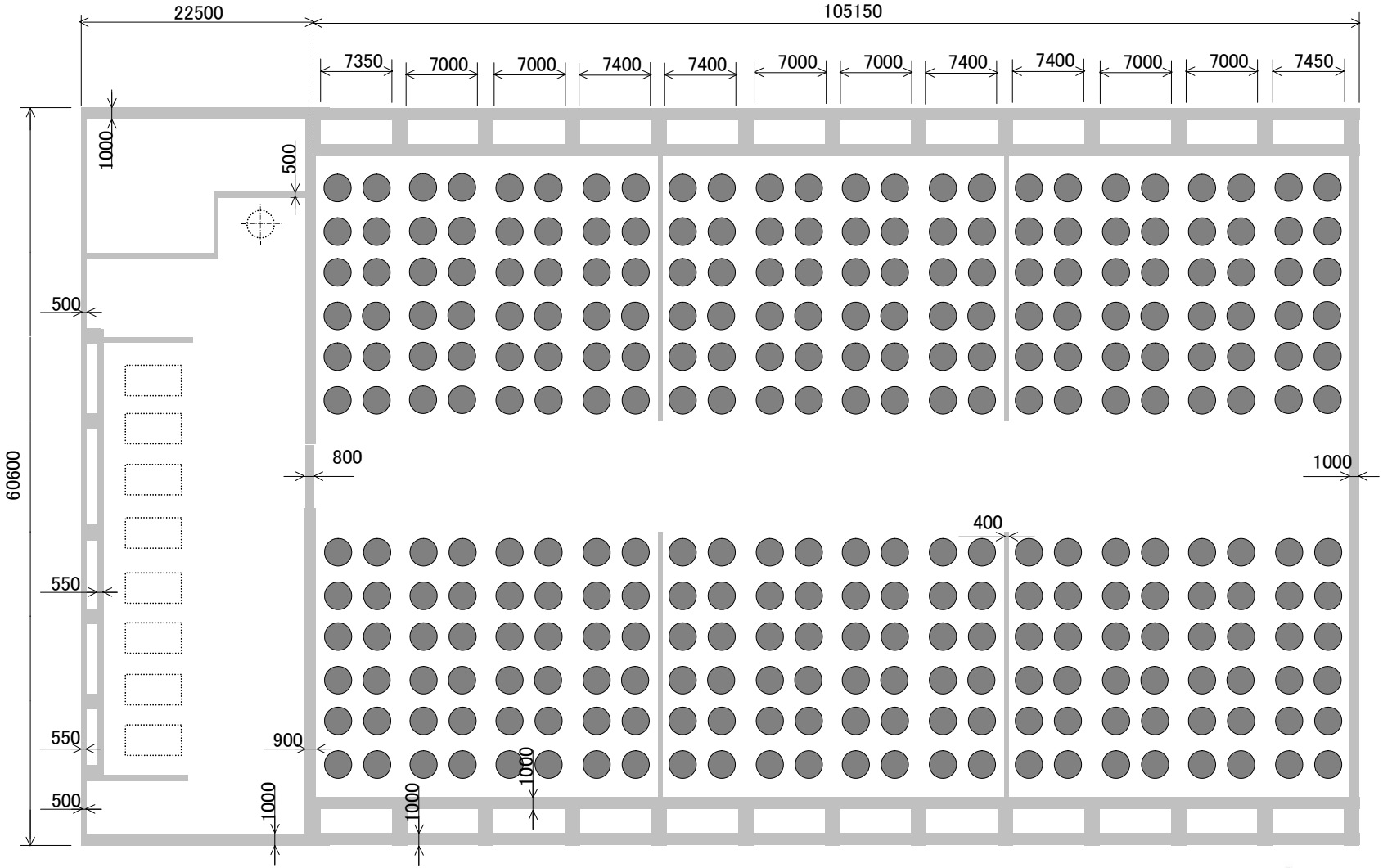
無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 3-4 図　貯蔵建屋モデル（貯蔵区域立面図）

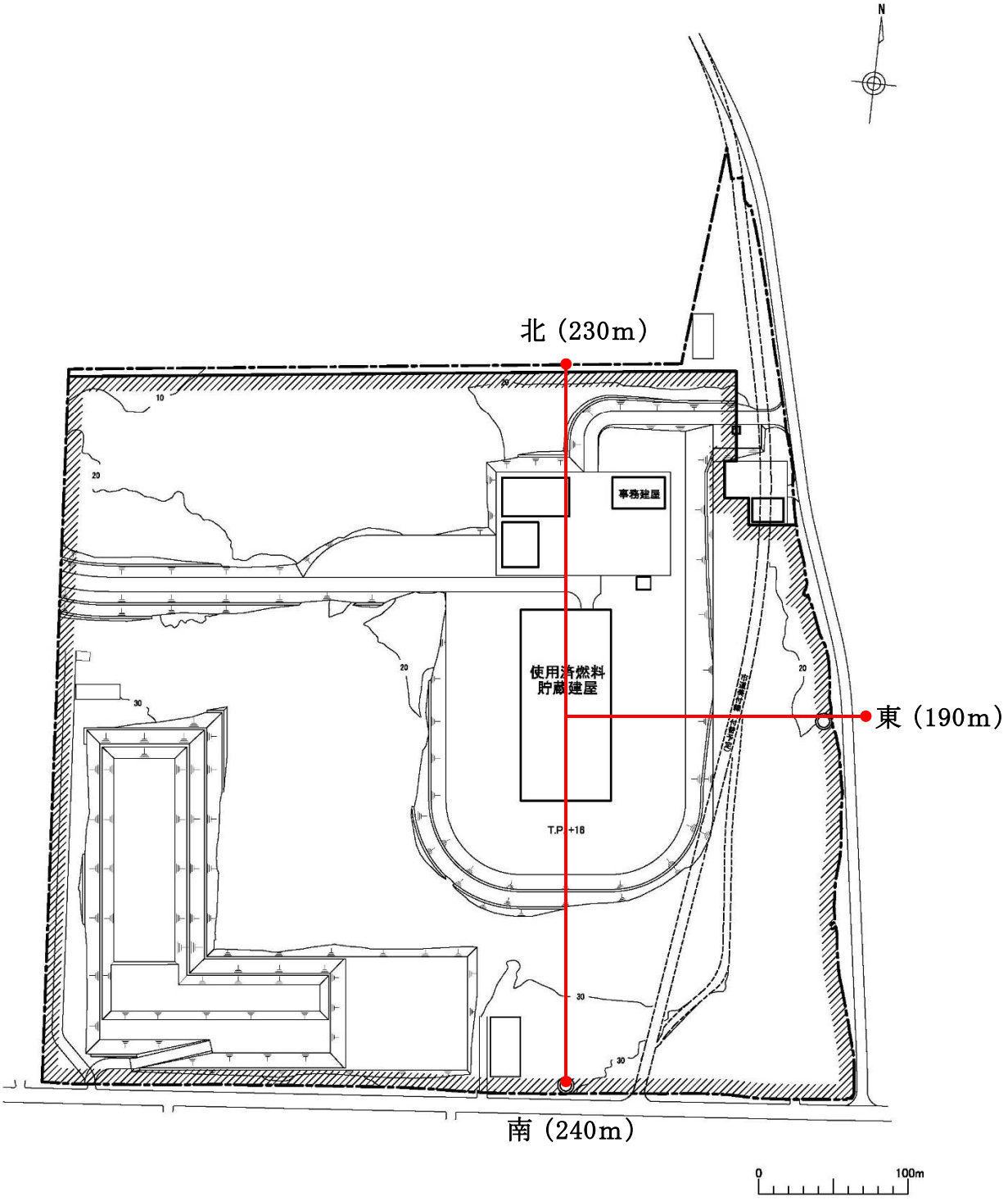
（注）本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 3-5 図　貯蔵建屋モデル（平面図）

（注）本評価は平成 19 年３月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，評価モデルは現行のモデルと異なるものである。



添付 3-6 図　線量の計算地点図

（注）本評価は平成 19 年 3 月に行った事業許可申請の前に実施したものであり，
評価モデルは現行のモデルと異なるものである。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

直接線及びスカイシャイン線による評価について

貯蔵建屋に収容されている金属キャスク（線源）が放出する放射線が直接的又は空気中で散乱されて敷地境界外に到達する直接線及びスカイシャイン線について，以下のとおり評価している。

1. 評価条件，評価方法

(1) 解析コード

リサイクル燃料備蓄センターは，貯蔵建屋から敷地境界までの距離が短く，貯蔵建屋には除熱のための大きな開口部が存在することから，開口部からの中性子ストリーミング線量は敷地境界外における線量への寄与が大きくなる。また，貯蔵建屋貯蔵区域に配置する金属キャスク 288 基は，放射線を放出する線源であると同時に遮蔽体でもある（相互遮蔽効果）。

本評価では，開口部からの中性子ストリーミング線量，金属キャスク相互の遮蔽効果等を適切に評価できる MCNP コード(1)を使用している。

ａ．解 析 コ ー ド：3 次元連続エネルギーモンテカルロ法コード MCNP※-4C

ｂ．断面積ライブラリ：MCNPDLC-200/MCNPDATA（ENDF/B-Ⅵをベースとして MCNP コード用に作成された内蔵ライブラリ）

※ MCNP（MCNP：Monte Carlo N-Particle Transport Code System）は，米国 Los Alamos 国立研究所(LANL)において開発されたモンテカルロ法による中性子，ガンマ線及び中性子・ガンマ線結合系を対象とする汎用の輸送計算コードである。幾何形状の設定の自由度が大きいことや，断面積の取り扱いに連続エネルギを採用していること等の利点があり，モンテカルロ輸送計算コードの主流なものとなっている。また，米国では，使用済燃料貯蔵施設の審査指針である NUREG-1567 において，遮蔽解析ツールとして記載されており，遮蔽設計，線量評価等で使用されている。

(2) 線源条件

金属キャスクから放出される放射線（中性子，ガンマ線）の比率，線量当量率及び金属キャスク表面のエネルギスペクトルは，設計，収納燃料条件等によりそれぞれ異なることから，線源条件は，リサイクル燃料備蓄セ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

ンターで使用する金属キャスクの遮蔽解析結果を包絡するよう，以下のとおり設定する。

ａ．線源

使用済燃料集合体を収納した金属キャスクとし，その基数は，事業開始以降，金属キャスクの基数及び配置がいずれの状態においても最も厳しい条件となるように，貯蔵建屋貯蔵区域に配置した 288 基とする。

ｂ．評価線質

金属キャスクからの放射線を全て中性子とした場合（中性子 100%）及び全てガンマ線とした場合（ガンマ線 100%）のそれぞれの線質に対して敷地境界外における実効線量を評価し，そのうち，保守的な値を公衆の線量とする。

ｃ．線源強度

リサイクル燃料備蓄センターでは，金属キャスクを鉄筋コンクリート造の貯蔵建屋内で貯蔵することから，金属キャスク表面のエネルギスペクトルの設定に当たっては，コンクリートの透過率を考慮し，コンクリート中の減衰割合が小さいエネルギスペクトル（以下「包絡スペクトル」という。）[(2)]を設定している。

包絡スペクトルは，（財）原子力安全研究協会により，使用済燃料中間貯蔵施設（金属キャスク方式）における線量評価用のエネルギスペクトルとして，BWR 燃料用金属キャスク 10 種類，PWR 燃料用金属キャスク４種類の設計から得られたガンマ線及び中性子のそれぞれの表面エネルギスペクトルに対して，保守的な線量評価結果を与えるように作成されたものである。ガンマ線の包絡スペクトルは，遮蔽コンクリートの減衰効果に寄与が大きいと考えられる高エネルギ側（群定数断面積 DLC23/F の１群～８群）について，上記 14 種類のモデルキャスクのスペクトル強度を包絡するように設定されている。中性子の包絡スペクトルは，Cm-244 自発核分裂，Pu-239 核分裂のスペクトルに比べコンクリート中の減衰割合が小さい Cm-242（α，ｎ）反応のスペクトルが設定されている。

金属キャスク表面の中性子エネルギスペクトルを別添 2－1 表に，ガンマ線エネルギスペクトルを別添 2－2 表に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

また，金属キャスクの線量当量率は，表面から 1mにおける位置での平均が，輸送時の線量基準値である 100μSv/h（1cm 線量当量率）となるように規格化している。

金属キャスク１基あたりの線源強度を別添 2－3 表に示す。

(3) 解析モデル

MCNP では，金属キャスク及び貯蔵建屋を三次元でモデル化している。

a．金属キャスクは，直径 2.6m，高さ 5.5mの円柱形状とし，散乱体として外筒 4cm，中性子遮蔽材 10cm を考慮している。また，キャスク内部は吸収体としており，吸収体に進入した中性子及びガンマ線は消去される。

金属キャスクの解析モデルを別添 2－1 図に示す。また，解析モデルの妥当性について，添付１に示す。なお，包絡スペクトルの妥当性については，別添１の添付１に示す。

b．貯蔵建屋は，躯体，給排気口等の構造を模擬してモデル化する。また，中性子の線量評価結果が保守的な値となるよう，貯蔵建屋のコンクリートは絶乾状態（自由水分を考慮しない），貯蔵建屋内外の空気は水分量が少ない乾燥空気相当に設定している。

貯蔵建屋の解析モデルを別添 2－2 図及び別添 2－3 図に示す。

(4) 計算地点

線量の計算は，貯蔵建屋の貯蔵区域からの距離，貯蔵区域における給気口及び排気口の開口の向き，側壁等による遮蔽効果及び金属キャスクの配置を考慮して，貯蔵建屋の貯蔵区域からの距離が最短となる東側の敷地境界外（貯蔵建屋貯蔵区域の直角東方向）及び遮蔽壁による線量低減効果が最も小さくなる南側の敷地境界外（貯蔵建屋貯蔵区域の直角南方向）について評価している。また，参考として，貯蔵建屋貯蔵区域の直角北方向（直角西方向は直角東方向と対称であり，敷地境界外までの距離が直角東方向の方が短いため，直角西方向については省略）及び貯蔵建屋貯蔵区域中心から 16 方位の敷地境界外における線量を評価している（合計 19 地点）。

線量の計算地点を別添 2－4 図に示す。

(5) その他

リサイクル燃料備蓄センターからの放射線による評価は，バルク線量，

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

給気口ストリーミング線量，排気口ストリーミング線量をそれぞれ評価し，その合算値を敷地境界外の線量としている。

(6)　評価方法

「(3)　解析モデル」に示したように，金属キャスク形状，貯蔵建屋構造等を考慮し，ＭＣＮＰコードを用いて計算地点における中性子束又はガンマ線束を算出している。

計算地点における中性子束又はガンマ線束からの実効線量の算出には，国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）の Publication74 の換算係数を用いている。

2.　公衆の線量評価結果

リサイクル燃料備蓄センターからの直接線及びスカイシャイン線による敷地境界外の実効線量の計算を行った結果，評価線質が中性子の場合，東側敷地境界外において最大となり,その値は年間約 2.8×10^{-2}mSv である。また，評価線質がガンマ線の場合，南側敷地境界外において最大となり，その値は年間約 6.6×10^{-3}mSv である。

敷地境界外における線量の計算結果の詳細を別添 2－4 表に示す。

参考文献

(1)　小佐古敏荘，飯本武志，石川智之，坪井孝文，寺村政浩，岡村知巳，成宮祥介，研究論文“MCNP コードの金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設線量評価への適用”，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 6，No. 2，p. 225-238 (2007)

(2)　「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕」（財団法人　原子力安全研究協会　リサイクル燃料資源貯蔵施設安全設計・評価検討専門委員会　スカイシャイン線量評価検討ワーキンググループ　平成 12 年 3 月）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添2－1表　中性子エネルギスペクトル

エネルギ群	上限エネルギ (MeV)	スペクトル
1	1.492E+01	0.000E+00
2	1.220E+01	0.000E+00
3	1.000E+01	0.000E+00
4	8.180E+00	0.000E+00
5	6.360E+00	0.000E+00
6	4.960E+00	5.240E-02
7	4.060E+00	3.940E-01
8	3.010E+00	2.800E-01
9	2.460E+00	4.660E-02
10	2.350E+00	1.510E-01
11	1.830E+00	6.840E-02
12	1.110E+00	6.700E-03
13	5.500E-01	1.100E-03
14	1.110E-01	0.000E+00
15	3.350E-03	0.000E+00
16	5.830E-04	0.000E+00
17	1.010E-04	0.000E+00
18	2.900E-05	0.000E+00
19	1.070E-05	0.000E+00
20	3.060E-06	0.000E+00
21	1.120E-06	0.000E+00
22	4.140E-07	0.000E+00
*	1.000E-08	

*第22群の下限エネルギ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添2－2表　ガンマ線エネルギスペクトル

エネルギ群	上限エネルギ (MeV)	スペクトル
1	1.000E+01	2.231E-03
2	8.000E+00	2.076E-02
3	6.500E+00	2.624E-02
4	5.000E+00	2.231E-02
5	4.000E+00	2.877E-02
6	3.000E+00	1.823E-02
7	2.500E+00	2.231E-02
8	2.000E+00	1.863E-02
9	1.660E+00	3.644E-02
10	1.330E+00	4.689E-02
11	1.000E+00	3.669E-02
12	8.000E-01	4.730E-02
13	6.000E-01	6.667E-02
14	4.000E-01	4.730E-02
15	3.000E-01	6.667E-02
16	2.000E-01	1.140E-01
17	1.000E-01	1.140E-01
18	5.000E-02	2.646E-01
**	1.000E-02	

**第18群の下限エネルギ

別添2－3表　金属キャスク1基あたりの線源強度

条　件	線源強度
中性子100%の場合	8.48×10^{7}〔neutrons/sec・基〕
ガンマ線100%の場合	1.31×10^{10}〔photons/sec・基〕

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添2－4表　敷地境界外線量評価結果

	線源	評価線質	バルク線量[1)] (μSv/y)	ストリーミング線量[1)] (μSv/y)		小計[2)] (μSv/y)	合計[2)] (μSv/y)
				給気口	排気口		
貯蔵建屋貯蔵区域の直角東方向	中性子100%	中性子	6.7	6.9	11.4	24.9	27.7
		2次ガンマ線	0.7 ※	1.1	1.2	2.8	
	ガンマ線100%	ガンマ線	1.1	1.7	0.3	3.0	3.0
貯蔵建屋貯蔵区域の直角南方向	中性子100%	中性子	5.3	0.9	3.5	9.6	11.3
		2次ガンマ線	1.4 ※	0.1	0.3	1.7	
	ガンマ線100%	ガンマ線	6.5	0.05未満	0.1	6.6	6.6

1）0.05未満の線量値は「0.05未満」と表記した

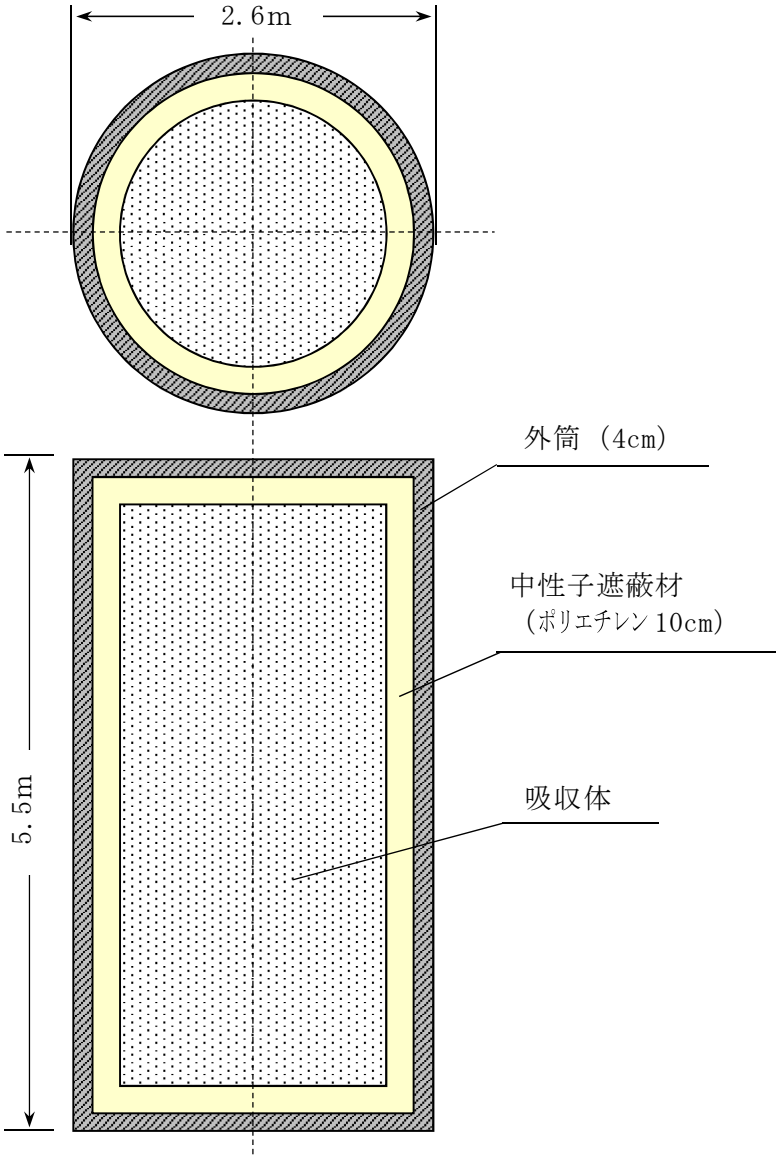
2）小計，合計値は丸め誤差により表数値合計と一致しない場合がある

※　貯蔵建屋遮蔽壁のコンクリート厚さの違い（東側：約1.50m，南側：約1.00m）により，バルク線量の2次ガンマ線については，直角南方向が高い結果となっている。

別添2－4表（参考）敷地境界外線量評価結果

計算地点	実効線量（μSv/y）	
	中性子100%	ガンマ線100%
北（直角）	7.5	0.5
東（直角）	27.7	3.0
南（直角）	11.3	6.6
北	7.2	0.5
北北東	4.7	0.3
北東	16.8	1.0
東北東	26.4	2.5
東	23.5	2.6
東南東	17.6	1.3
南東	4.9	0.6
南南東	8.7	4.2
南	11.5	6.5
南南西	7.4	1.6
南西	2.3	0.2
西南西	2.9	0.4
西	3.0	0.5
西北西	2.0	0.2
北西	4.0	0.2
北北西	6.9	0.4

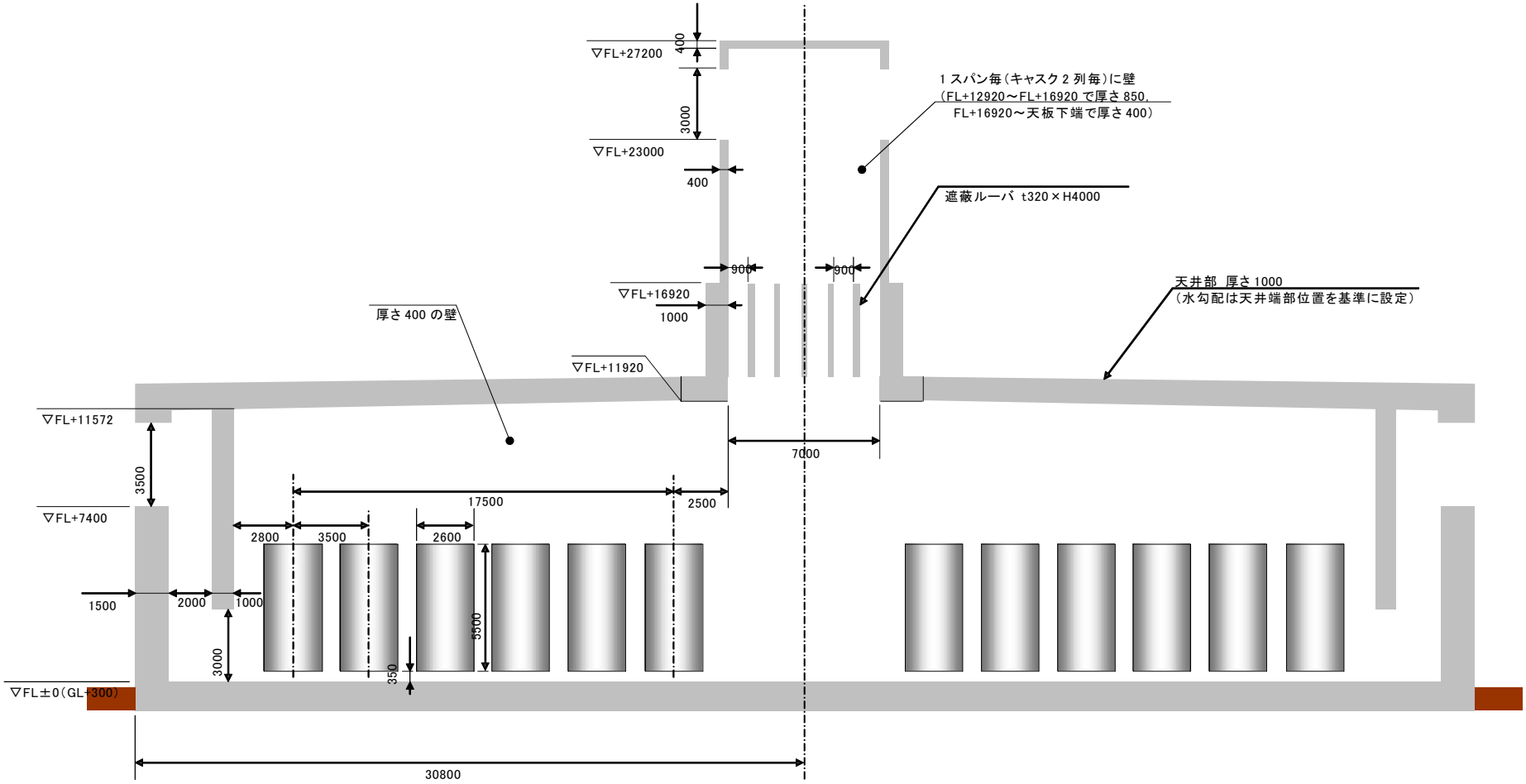
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添 2－1 図　金属キャスクモデル

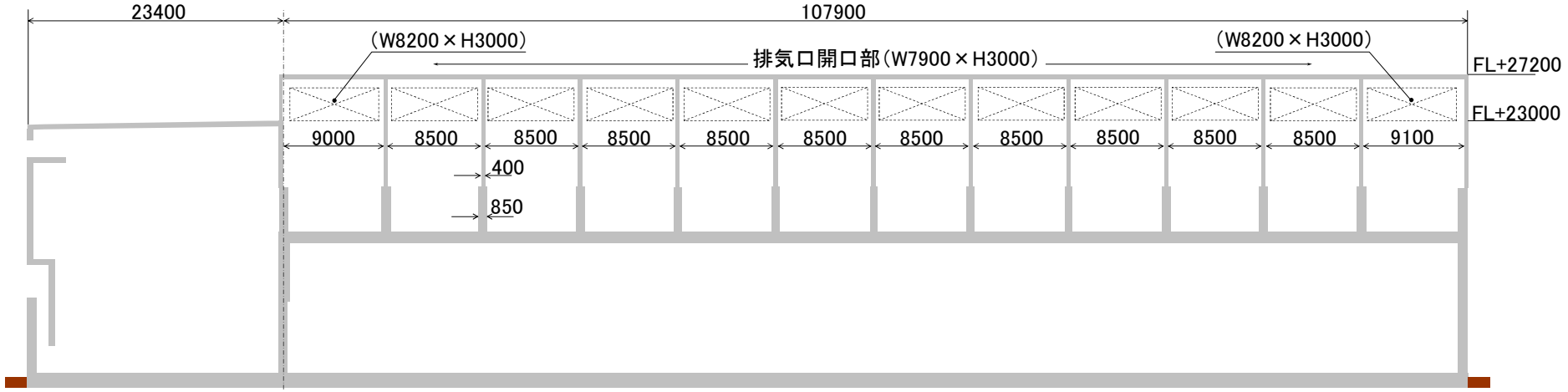
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



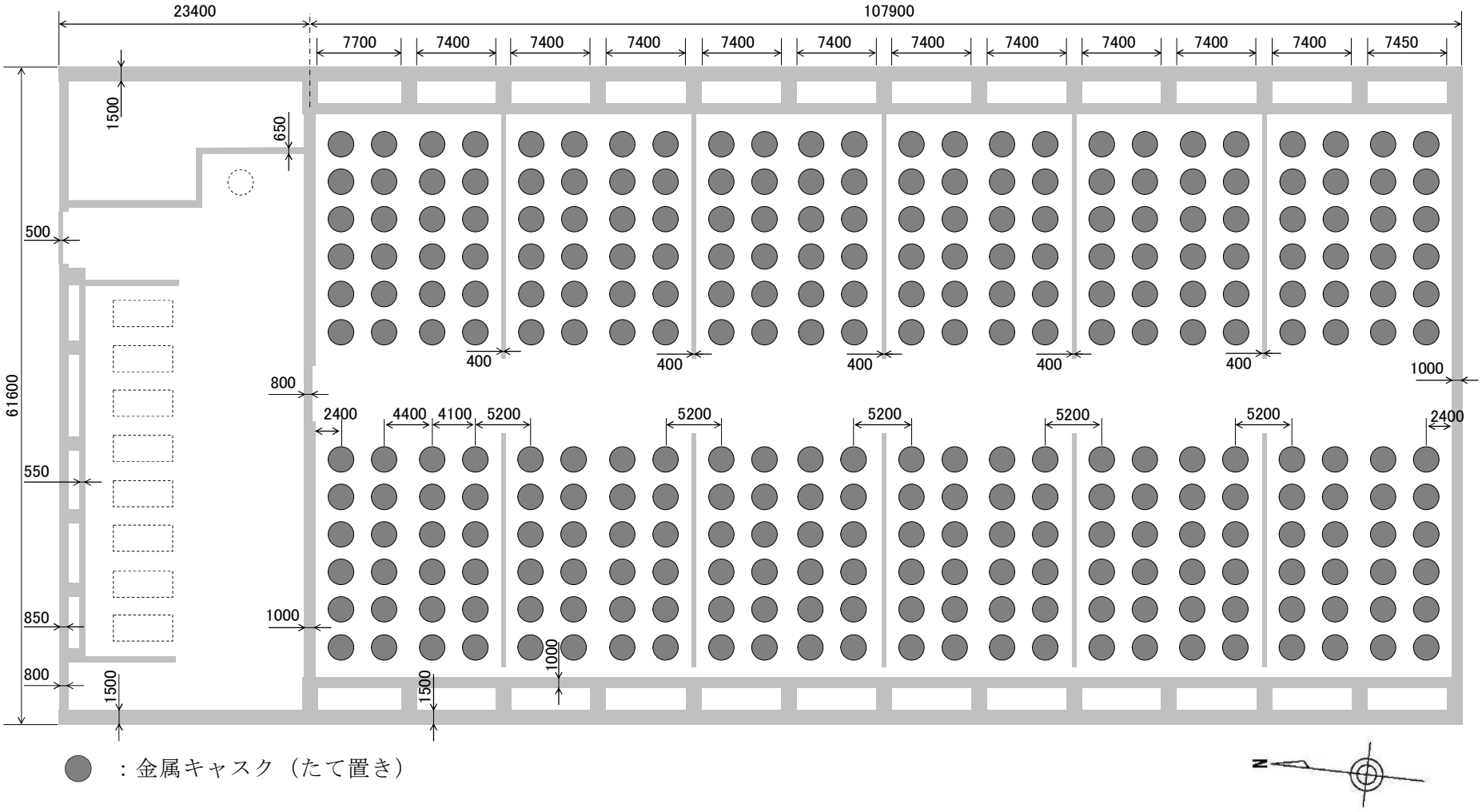
別添2－2図(1)　貯蔵建屋モデル（貯蔵区域（東西方向）立面図）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

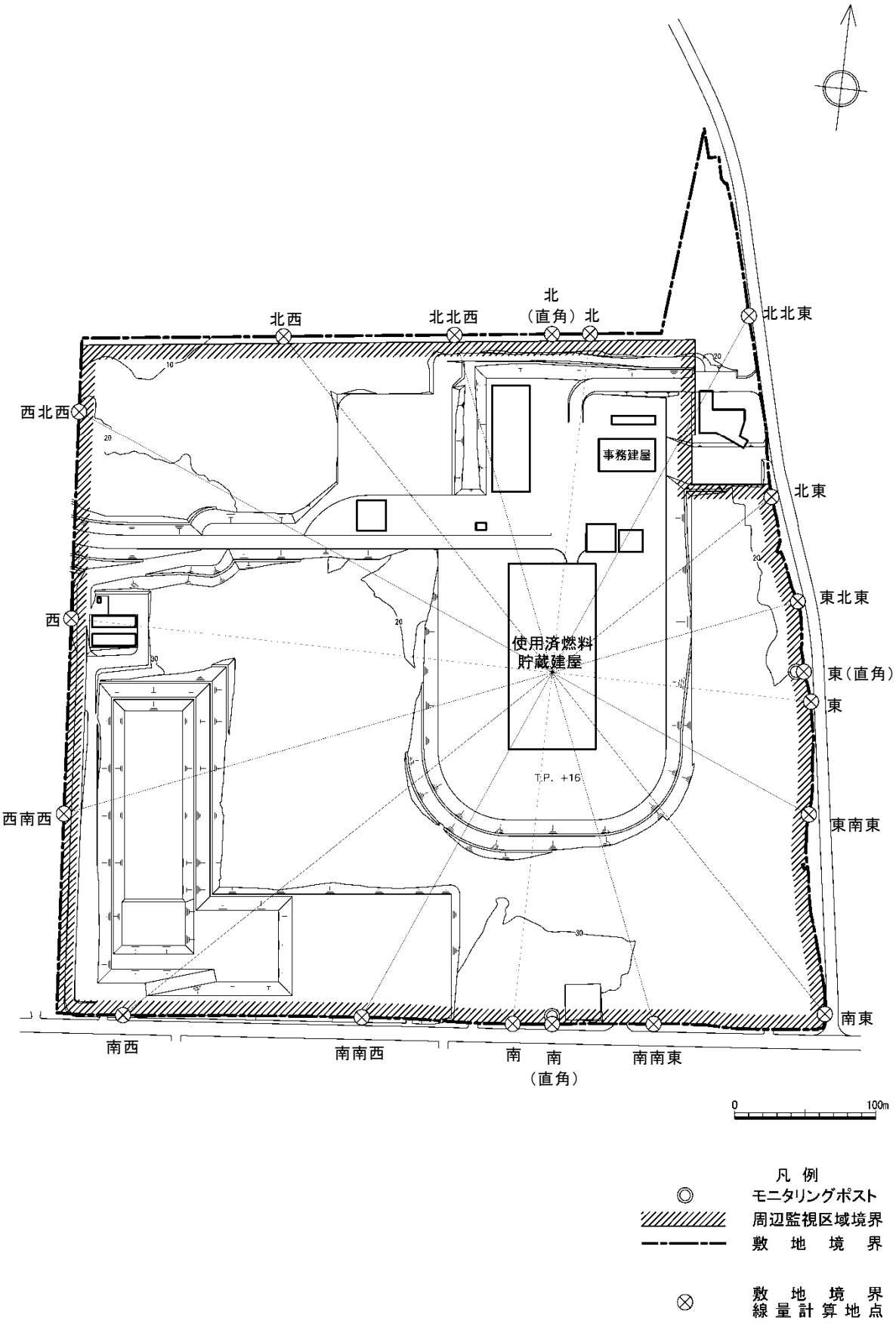


別添２－２図(2)　貯蔵建屋モデル（貯蔵建屋（南北方向）立面図）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添 2－3 図　貯蔵建屋モデル（平面図）



別添 2－4 図　線量の計算地点

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付１

金属キャスクの解析モデルの妥当性について

金属キャスクは，線源であると同時に遮蔽体でもあり，金属キャスク相互の遮蔽効果が期待できる。この効果を線量評価において考慮するため，金属キャスク内部には吸収体（黒体）を設けている。

ただし，金属キャスクを全て吸収体とした場合には，建屋内の線量や敷地境界外における線量を過小評価する可能性があることから，粒子の散乱を考慮するために金属キャスクの外筒やその内側の中性子遮蔽材を模擬している。

金属キャスクモデルは，相互遮蔽効果実験(1)（添付２を参照）で得られた知見をもとに，外筒厚さを４cm，中性子遮蔽材の厚さを 10cm，中性子遮蔽材の内側を吸収体（黒体）としている。この妥当性を確認するため，外筒厚さ，中性子遮蔽材の厚さをパラメータとした貯蔵区域内の線量評価を行っている（評価条件，評価方法は，貯蔵建屋遮蔽評価と同一。ただし，貯蔵建屋モデルは平成19 年当時のモデルを使用。キャスクの考察のため，貯蔵建屋モデルの違いの影響はなし）。

貯蔵区域内の中性子線量評価結果（添付 1-1 表）から，相互遮蔽効果実験と同様に，下記を確認している。

・外筒厚さは４cm とすることが保守的な評価となる

・中性子遮蔽材の厚さは 10cm 確保すれば，それ以上厚くしても評価結果に影響は生じない

また，ガンマ線については，外筒厚さを２cm から４cm に変更しても評価結果には殆ど影響しないことを確認している。（添付 1-2 表参照）

以上より，外筒４cm，中性子遮蔽材 10cm，中性子遮蔽材の内側を吸収体（黒体）としている金属キャスクモデルは妥当なものと考える。

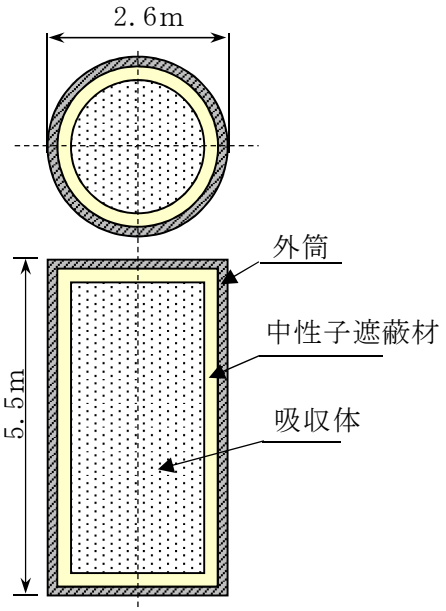
参考文献

(1) 小佐古敏荘，飯本武志，石川智之，坪井孝文，寺村政浩，岡村知巳，成宮祥介，研究論文“MCNP コードの金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設線量評価への適用”，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 6, No. 2, p. 225-238 (2007)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-1 表　貯蔵区域内の実効線量率（中性子）

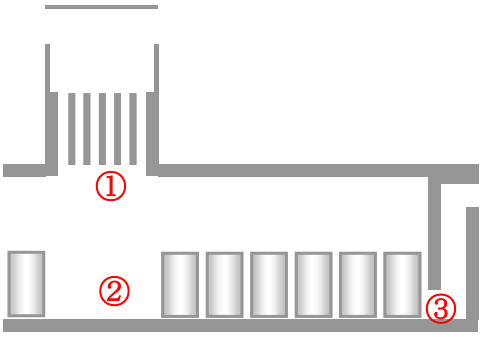
		評価位置	実効線量率（μSv/h）	
			外筒厚さ	
			2cm	4cm
中性子遮蔽材厚さ	5cm	①	365	387
		②	346	380
		③	278	295
	10cm	①	362	392
		②	355	379
		③	282	294
	20cm	①	366	389
		②	356	379
		③	282	292



金属キャスクの解析モデル

添付 1-2 表　貯蔵区域内の実効線量率（ガンマ線）

評価位置	実効線量率（μSv/h）	
	外筒厚さ	
	2 cm	4 cm
①	173	172
②	146	146
③	130	130



貯蔵区域内の線量評価位置

（注）貯蔵建屋は耐震の裕度確保の観点から設計を変更しているが，本資料の評価は設計変更前のものである。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付２

ＭＣＮＰコードの使用済燃料中間貯蔵施設線量評価への適用に係るベンチマーク実験概要

使用済燃料中間貯蔵施設（以下「中間貯蔵施設」という。）の遮蔽解析，線量評価に３次元モンテカルロ評価手法を適用することの妥当性を確認するためのベンチマーク実験，実証解析が実施されている。

ベンチマーク実験は，中間貯蔵施設の放射線経路を考慮し，金属キャスク相互遮蔽効果，建屋給排気口からのダクトストリーミング，建屋側壁・天井のコンクリート深層透過について，中性子に着目して実施されている。

実証解析で使用している解析コードは，米国 Los Alamos 国立研究所（LANL）において開発された３次元連続エネルギーモンテカルロ計算コードＭＣＮＰである。

上記ベンチマーク実験とＭＣＮＰコードによる計算結果との比較を行った結果，ＭＣＮＰコードの計算精度は 30％以内であることが確認されている。また，この計算精度は，現行の許認可申請等で使用されている輸送計算コードの精度と比較しても，同等又はそれ以上であり，中間貯蔵施設の遮蔽設計，線量評価へ適用する手法及び解析コードとして十分な妥当性を有するとしている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1. ベンチマーク実験概要

中間貯蔵施設の線量評価に３次元モンテカルロ評価手法を適用することの妥当性を確認するため，相互遮蔽効果，ダクトストリーミング及びコンクリート深層透過の３つのベンチマーク実験が行われている。

(1) 実験施設

実験は，モスクワ物理工科大学の研究用原子炉 IRT 炉（出力 2.5MW の水プール型炉）にて行われている。実験に使用した水平実験孔（添付 2-1 図参照）の出口直径は 15cm，中心軸の高さは床上 87.5cm である。

(2) ビーム散乱体の設置（添付 2-2 図(a)参照）

相互遮蔽効果及びダクトストリーミング実験では，水平実験孔出口にビーム散乱体（鉄，ポリエチレンを組み合わせた八角柱）を設置し，線量率分布の平坦化を図るとともに，金属キャスク表面のエネルギスペクトルを模擬している。

(3) 相互遮蔽効果実験（添付 2-2 図(b)参照）

実際の金属キャスクを 1/3 スケールで模擬したキャスク(以下「模擬キャスク」という。）を線源の周囲に格子状に配列し，線量の低減効果を確認するための実験が行われている。

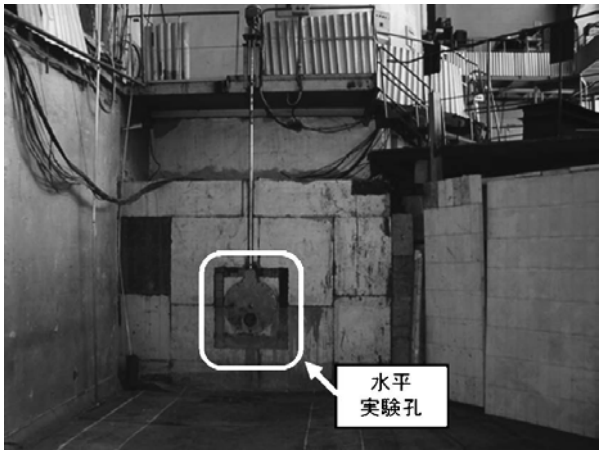
(4) ダクトストリーミング実験（添付 2-2 図(c)参照）

建屋給排気口部のダクト及びその内部に設置するコンクリート製ルーバを模擬し，迷路構造及びルーバによるストリーミング線量の低減効果を確認するための実験が行われている。

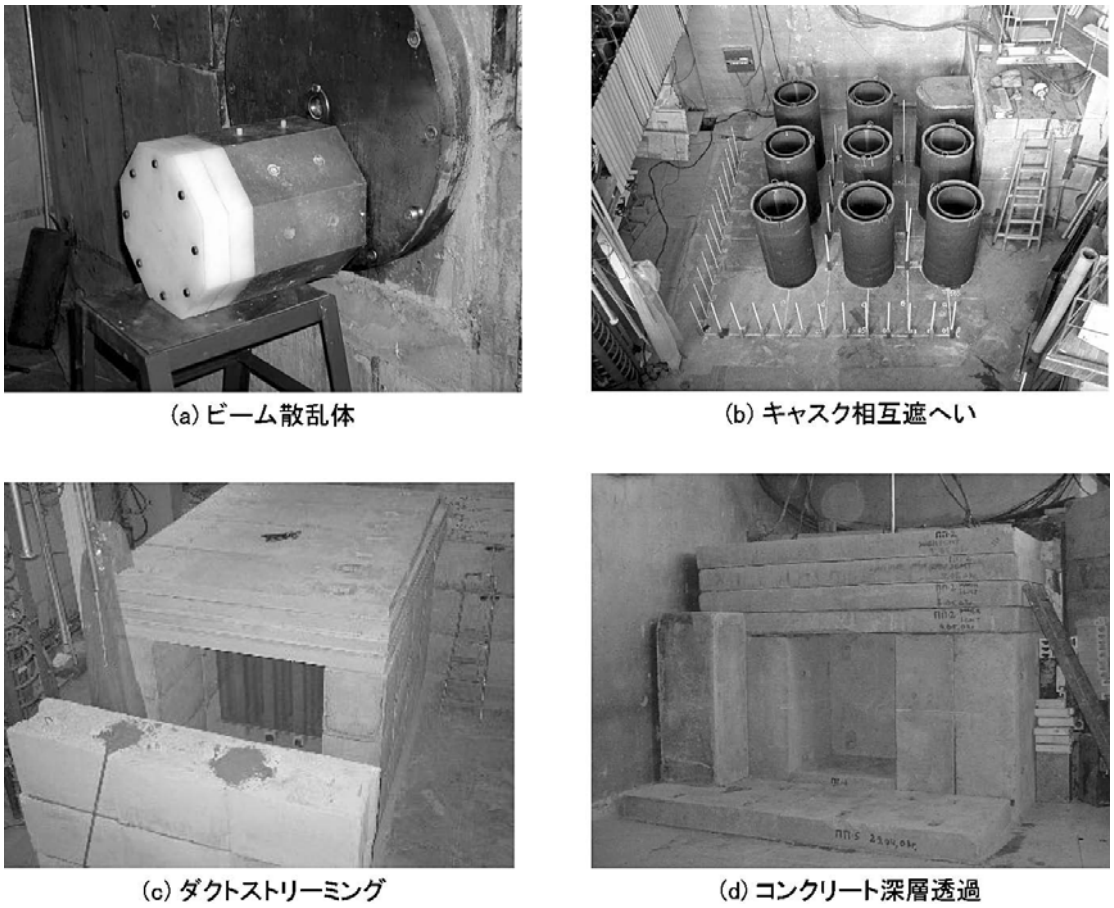
(5) コンクリート深層透過実験（添付 2-2 図(d)参照）

建屋の壁・天井部を模擬したコンクリート平板（以下「平板供試体」という。）を実験孔出口に最大 120cm まで積層し，線量の減衰効果を確認するための実験が行われている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 2-1 図　実験炉の外観及び配置



添付 2-2 図　各ベンチマーク実験風景

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　実験解析

実験解析では，米国 Los Alamos 国立研究所（LANL）において開発された中性子，ガンマ線及び二次ガンマ線を対象とする３次元連続エネルギーモンテカルロ計算コードＭＣＮＰ４が使用されている。また，断面積ライブラリは，ENDF/B-Ⅵをベースとして ＭＣＮＰ用に作られた内蔵ライブラリが用いられている。

(1)　相互遮蔽効果

模擬キャスクの配列数（なし/１層/２層），外筒厚さ（２cm，４cm）及び配列間隔（140cm，110cm）を変化させた場合の各測定点でのレムカウンタによる中性子の１cm 線量当量率（以下「中性子線量率」という。）の測定値と計算値との比較がなされている。

水平実験孔出口に設置したビーム散乱体をさらに鉄製半円筒のカバーで覆い，強度分布がほぼ均一となる円柱線源とされている。

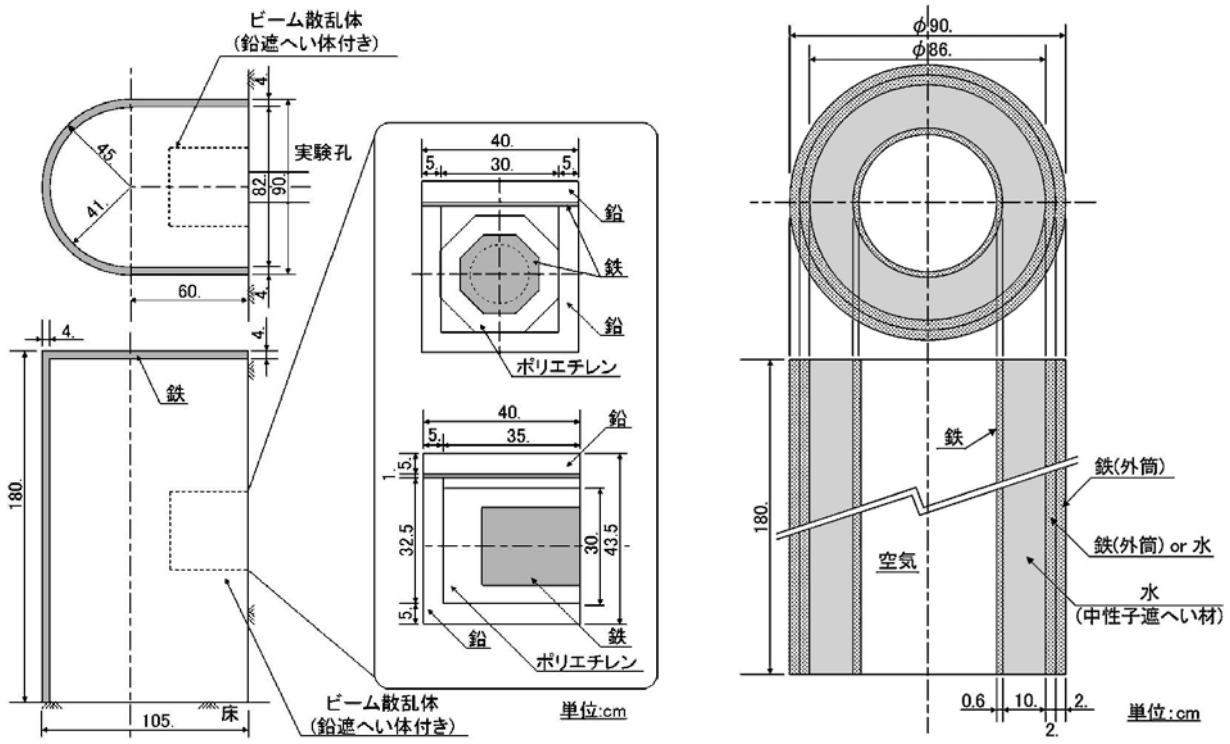
模擬キャスクは，直径 90cm，高さ 180cm の円環タンク形状であり，外筒部は鉄，その内部に中性子遮蔽材として水が充填されている。水の充填層厚さは，模擬キャスク表面の散乱や吸収に影響を与えない厚さとして 10cm（予備解析結果）とされている。外筒部は，２cm 及び４cm 厚さを模擬できる構造とされている。

ビーム散乱体，鉄製半円筒カバー及び模擬キャスクの計算モデルを添付 2-3 図に，模擬キャスクを２層配列した場合の計算モデルを添付 2-4 図に示す。

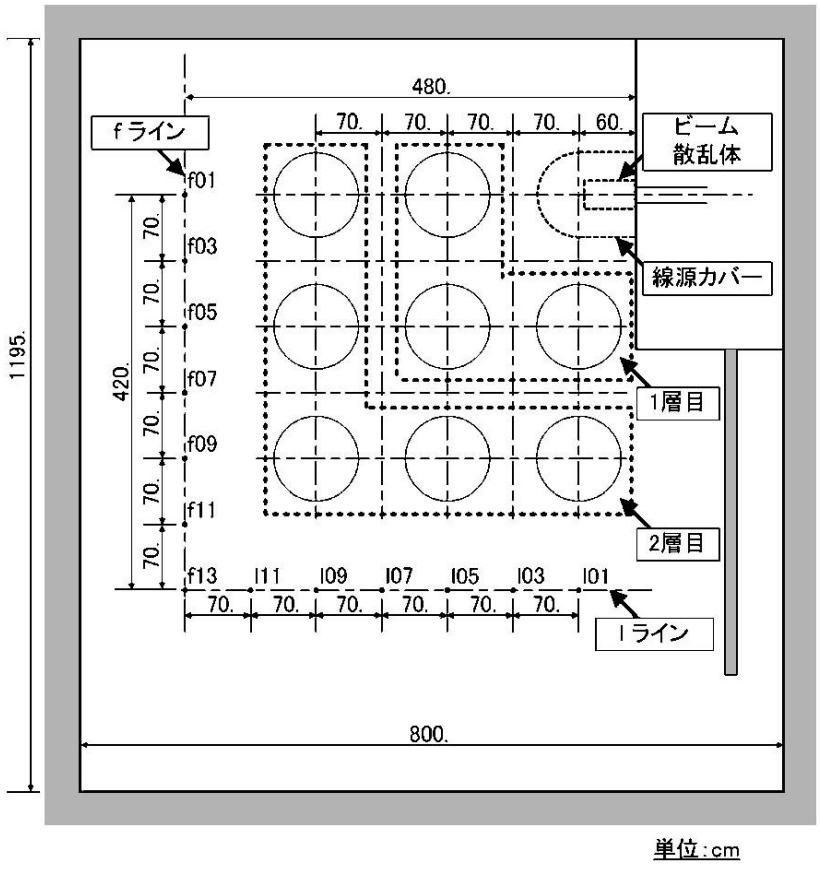
実験解析の結果，模擬キャスク配列の違いによる中性子線量率の測定値と計算値は約 20％以内で一致したことが示されている。また，外筒厚さを２cm から４cm に変化させた場合，中性子線量率の測定値は 10％程度，計算値は５％程度増加していること，配列間隔を 140cm から 110cm に変化させた場合の配列間隔の効果を約 10％以内の精度で再現していることが示されている。

模擬キャスク配列の違いによる中性子線量率分布を添付 2-5 図に，模擬キャスク外筒厚さの違いによる中性子線量率分布を添付 2-6 図に，模擬キャスク配列間隔の違いによる中性子線量率分布を添付 2-7 図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

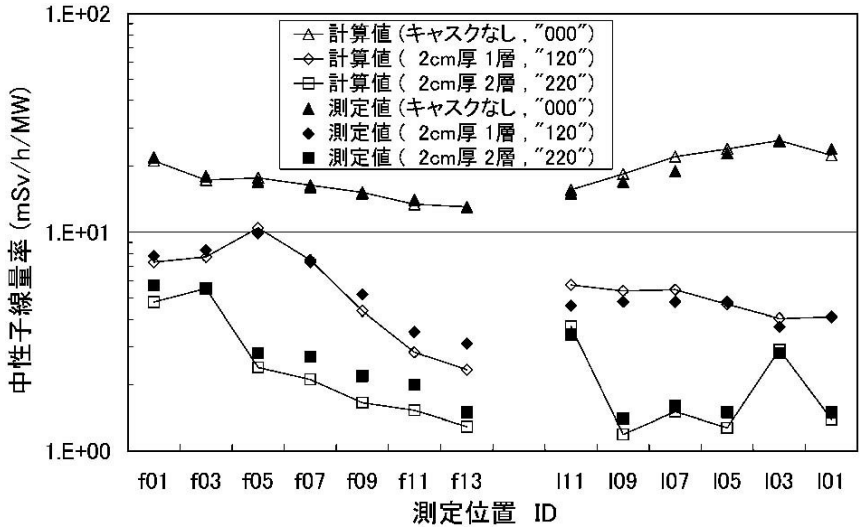


添付 2-3 図　ビーム散乱体，鉄製半円筒カバー及び模擬キャスクの計算モデル

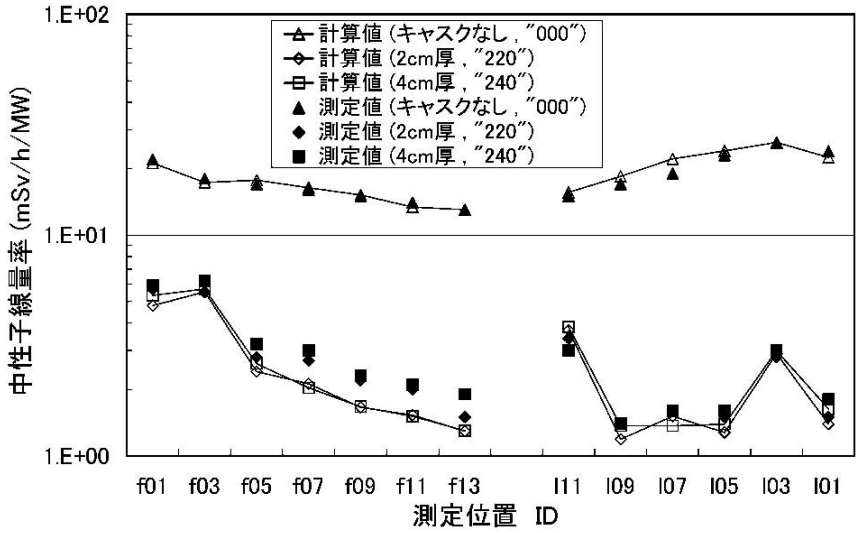


添付 2-4 図　模擬キャスクを 2 層配列した場合の計算モデル

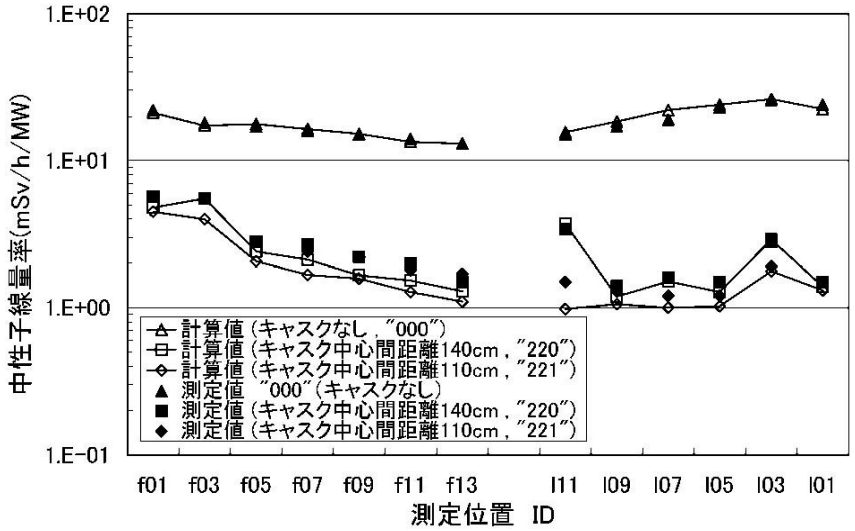
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 2-5 図　模擬キャスク配列の違いによる中性子線量率分布



添付 2-6 図　模擬キャスク外筒厚さの違いによる中性子線量率分布



添付 2-7 図　模擬キャスク配列間隔の違いによる中性子線量率分布

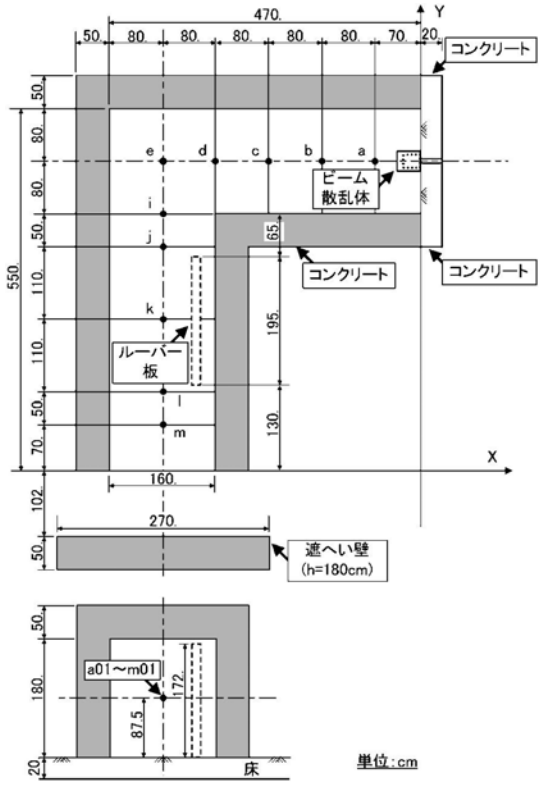
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　ダクトストリーミング実験

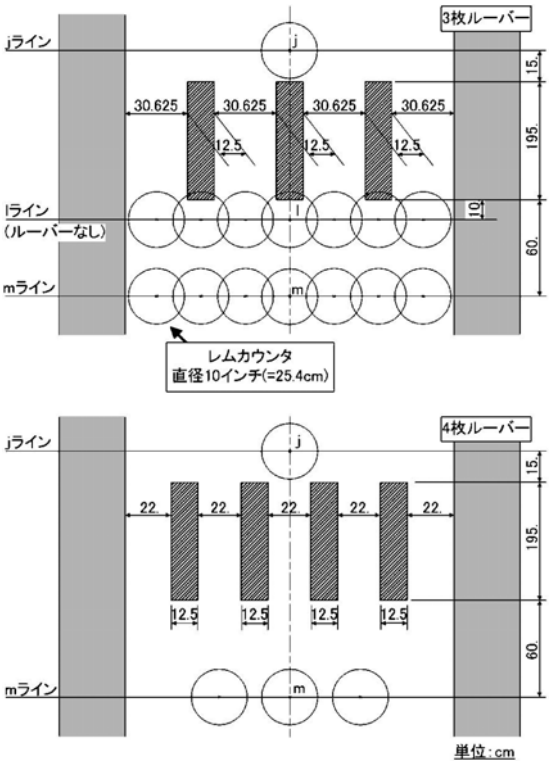
ダクト内における中性子線量率及びダクト内コンクリート製ルーバの枚数を変化させ，その前後での中性子線量率の測定値と計算値との比較がなされている。

ダクトは，貯蔵施設の給排気口部のダクト形状を模擬するものとして，１回 90°屈曲短形コンクリートダクトを実験孔の前に設定されている。コンクリート製ルーバは，１回屈曲ダクトの２脚目位置に設置されている。実験解析の結果，ダクト軸上及びダクト２脚目断面位置での中性子線量率の測定値と計算値は約 30%以内で一致したことが示されている。

ダクトストリーミング計算モデルを添付 2-8 図に，ダクト内２脚目位置におけるレムカウンタ測定点を添付 2-9 図に，ダクト軸上及びダクト２脚目断面位置での中性子線量率を添付 2-10 図に示す。

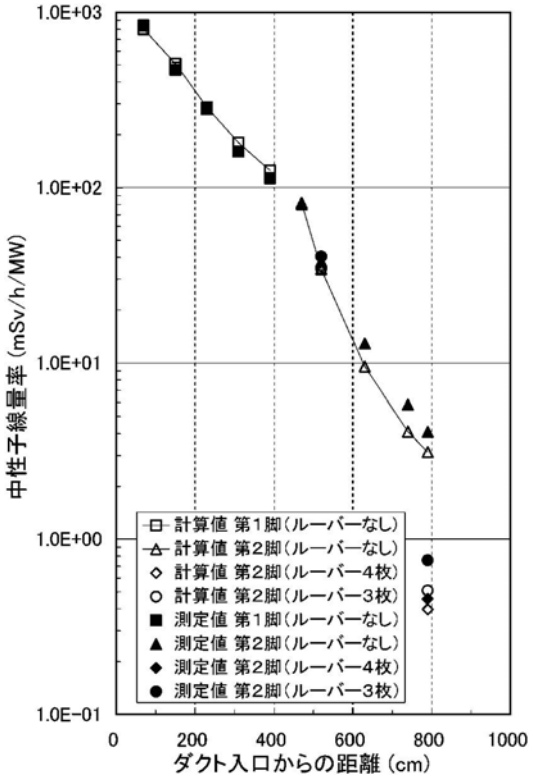


添付 2-8 図　ダクトストリーミング計算モデル

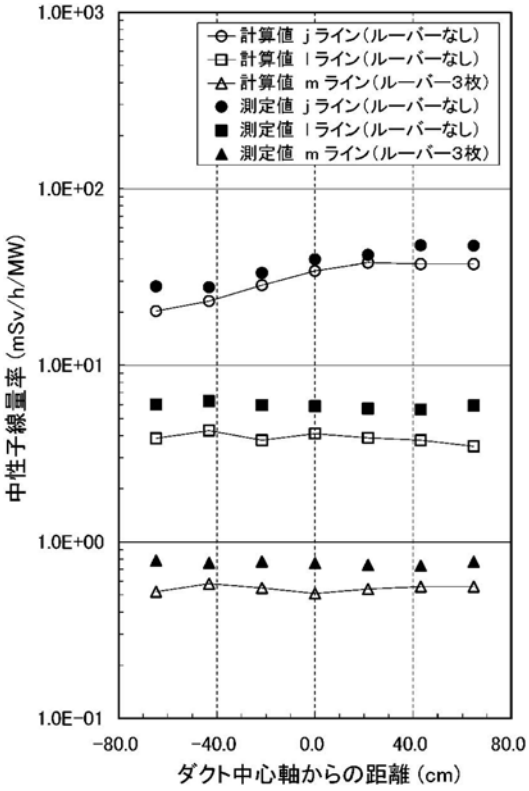


添付 2-9 図　ダクト内２脚目位置におけるレムカウンタ測定点

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



（ダクト軸上の中性子線量率分布）



（２脚目ダクト断面）

添付 2-10 図　ダクト軸上及びダクト２脚目断面位置での中性子線量当量率

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　コンクリート深層透過

平板供試体（高さ 120cm×幅 100cm×厚さ 20cm）を複数枚積層し，コンクリート厚さを変化させた場合の各測定点でのレムカウンタによる中性子線量率の測定値と計算値とが比較されている。

平板供試体は，通常養生のものと，加熱炉で 100℃の状態において 10 日間加熱した乾燥養生コンクリートをそれぞれ 6 枚製作されており，乾燥養生コンクリートの自由水は，通常養生コンクリートに比べ約 1/6 に減少していることが示されている。

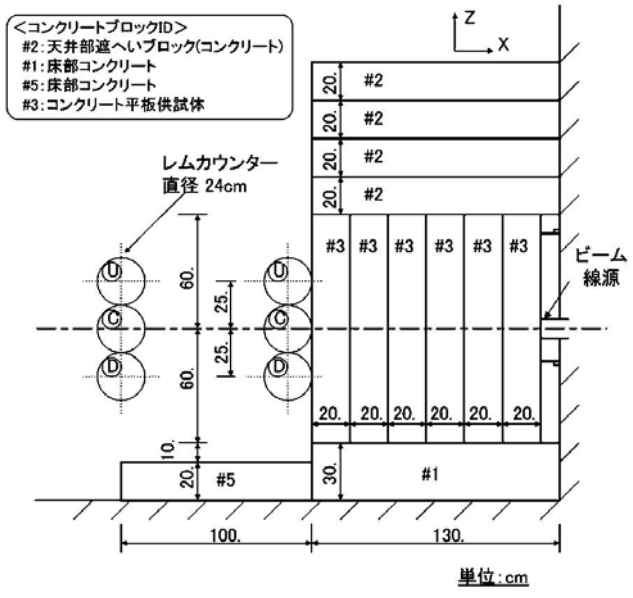
実験解析の結果，通常養生及び乾燥養生コンクリートの中心位置における表面及び表面から１ｍの位置において，計算値と測定値は約 20%以内で一致している。

コンクリート供試体の原子個数密度を添付 2－1 表に，コンクリート深層透過計算モデルを添付 2-11 図に，通常養生及び乾燥養生コンクリートの中心位置における表面及び表面から１ｍ位置における中性子線量当量率を添付 2-12 図に示す。

添付 2-1 表 コンクリート供試体の原子個数密度

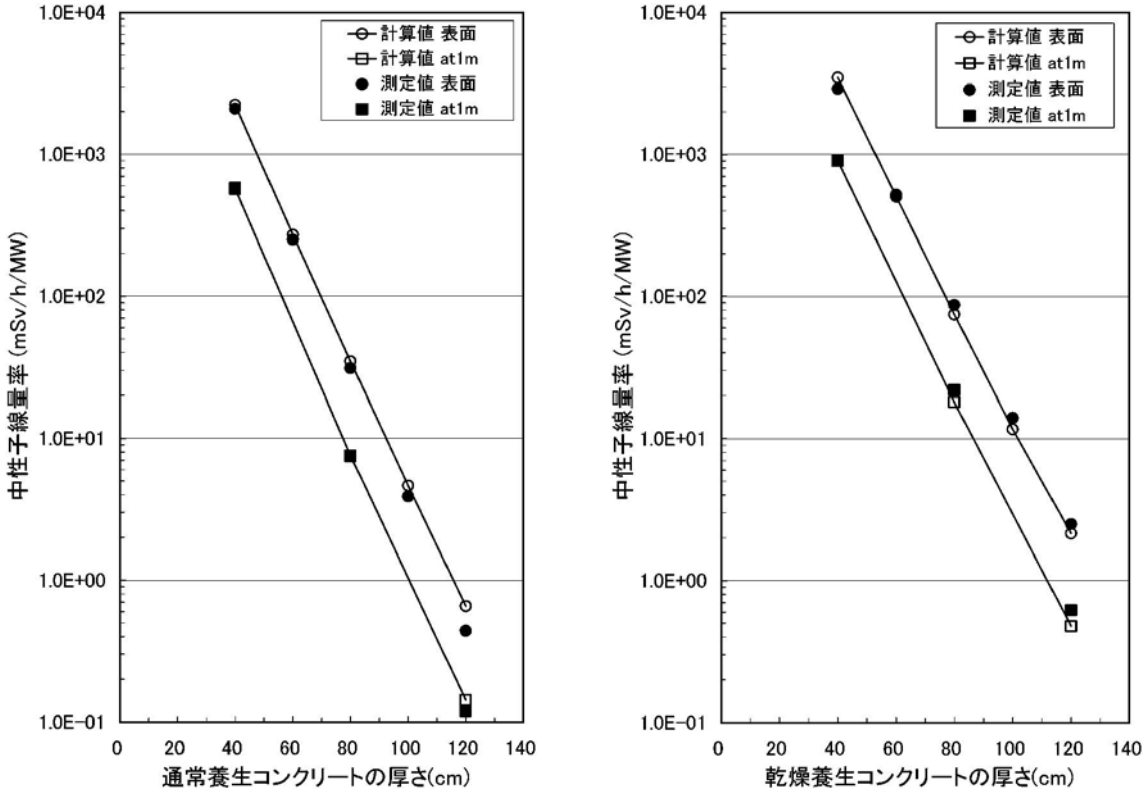
単位：個/cm³

養生処理	乾燥養生コンクリート		通常養生コンクリート	
密度 (g/cm³)	2.13	2.12	2.20	2.18
自由水 (%)	0.52	0.40	3.10	2.72
総水分量 (%)	5.68	6.72	9.01	9.11
H	7.99E＋21	9.40E＋21	1.27E＋22	1.28E＋22
C	2.51E＋21	2.37E＋21	2.60E＋21	2.31E＋21
O	3.71E＋22	3.72E＋22	3.94E＋22	3.89E＋22
Si	1.26E＋22	1.24E＋22	1.22E＋22	1.21E＋22
Al	9.88E＋20	1.02E＋21	1.03E＋21	1.03E＋21
Fe	2.88E＋20	2.61E＋20	2.92E＋20	3.04E＋20
Ca	5.39E＋21	5.39E＋21	5.59E＋21	5.61E＋21
Mg	7.00E＋20	7.28E＋20	7.66E＋20	8.29E＋20
K	2.74E＋20	2.29E＋20	2.59E＋20	2.44E＋20
Na	1.81E＋20	1.56E＋20	2.07E＋20	1.57E＋20
Mn	1.07E＋19	9.02E＋18	7.24E＋18	7.20E＋18
S	1.61E＋20	1.44E＋20	1.41E＋20	1.50E＋20
Cl	9.00E＋18	7.17E＋18	2.53E＋18	5.04E＋18
枚数	3	3	3	3



添付 2-11 図　コンクリート深層透過計算モデル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 2-12 図　通常養生及び乾燥養生コンクリートの中心位置における
表面及び表面から１ｍ位置における中性子線量当量率

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

貯蔵建屋の遮蔽評価について

1. 遮蔽能力

貯蔵建屋は，公衆及び放射線業務従事者に対して，放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないように設計する。遮蔽材には，貯蔵建屋のコンクリート壁，遮蔽ルーバ及び遮蔽扉を用いる。

2. 遮蔽設計基準

貯蔵建屋の遮蔽設計基準を別添３－１表に示す。

3. 評価条件，評価方法

評価条件，評価方法は，以下に示す線源及び評価位置（計算地点）の条件を除き，別添２（直接線及びスカイシャイン線による評価について）に同じ。

(1) 線源

ａ．貯蔵建屋貯蔵区域外壁及び同建屋受入れ区域（受入れ区域に金属キャスクが仮置きされていない場合）内の評価では，同建屋貯蔵区域に金属キャスク 288 基（最大収納基数）を配置する。

ｂ．貯蔵建屋付帯区域内及び外壁並びに同建屋受入れ区域外壁の評価では，貯蔵区域に配置した金属キャスク 288 基に加え，受入れ区域に金属キャスク９基（たて起こし架台１基，仮置架台７基，検査架台１基）を配置する。

(2) 評価位置

貯蔵建屋遮蔽評価における評価位置を別添３－１図に示す。

4. 評価結果

貯蔵建屋の遮蔽評価結果を別添３－２表に示す。

本表に示すとおり，貯蔵建屋の遮蔽能力は設計基準値を満足している。また，事業所内の管理区域以外の人が立ち入る場所については，定期的に行う外部放射線に係る線量測定，金属キャスクの搬入時に線量上昇が考えられる付帯区域等における外部放射線に係る線量測定及び金属キャスクの構内運搬

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

時の金属キャスク表面及び表面から１ｍの位置における線量当量率測定（記録確認含む）を行う。当該場所に立ち入る者の線量が「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」に定められた線量限度（１mSv/年）を超えるおそれがある場合には，以下のような措置を講ずることにより，線量限度を超えないように管理する。

・区画の設置による関係者以外の者の立ち入り制限を行う。

・必要に応じて一時的な管理区域の設定，遮蔽体の設置，作業時間の管理・制限等を行う。

また，運搬経路には標識を設ける等の方法により，関係者以外の者及び他の車両の立ち入りを制限する。

詳細の管理方法については，保安規定・マニュアルで定める。

別添 3－1 表　貯蔵建屋の遮蔽設計基準

区　分		設計基準	区　域
管理区域外	A	0.0026mSv/ｈ以下	付帯区域
管理区域内	B	0.01mSv/ｈ未満	受入れ区域 貯蔵区域
	C	0.01mSv/ｈ以上	

※　受入れ区域は，金属キャスクが仮置きされていない場合はＢ区分となるように設計

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添 3－2 表　貯蔵建屋の遮蔽評価結果

評価位置※	線　源	評価結果	備　考
① （建屋外壁）	中性子 100％	0.00093 mSv/h	
	ガンマ線 100％	0.00011 mSv/h	
② （建屋外壁）	中性子 100％	0.00120 mSv/h	建屋外壁最大
	ガンマ線 100％	0.00023 mSv/h	
③ （受入れ区域）	中性子 100％	0.00033 mSv/h	受入れ区域最大
	ガンマ線 100％	0.00013 mSv/h	
④ （受入れ区域）	中性子 100％	0.00022 mSv/h	
	ガンマ線 100％	0.00012 mSv/h	
⑤ （付帯区域）	中性子 100％	0.00055 mSv/h	
	ガンマ線 100％	0.00018 mSv/h	
⑥ （付帯区域）	中性子 100％	0.00150 mSv/h	付帯区域最大
	ガンマ線 100％	0.00079 mSv/h	
⑦ （建屋外壁）	中性子 100％	0.00027 mSv/h	
	ガンマ線 100％	0.00015 mSv/h	

※　①～④は，別添 3－1 図(1)参照

①　：貯蔵区域外壁面の西（東）面の管理区域境界の最大線量となる所

②　：貯蔵区域外壁面の南面の管理区域境界の最大線量となる所

③　：貯蔵区域外壁面の北側の扉部分（遮蔽厚が薄い）

④　：貯蔵区域外壁面の北面の最大線量となる所（ただし③は除く）

（金属キャスクの状況：貯蔵区域に 288 基貯蔵）

⑤～⑦は，別添 3－1 図(2)参照

⑤　：管理区域境界（貯蔵区域と検査架台の両方の影響がある）

⑥　：管理区域境界（検査架台に最も近い所）

⑦　：貯蔵建屋外壁面の北面の管理区域境界の最大線量となる所

（金属キャスクの状況:貯蔵区域に 288 基貯蔵,受入れ区域に 9 基仮置き）

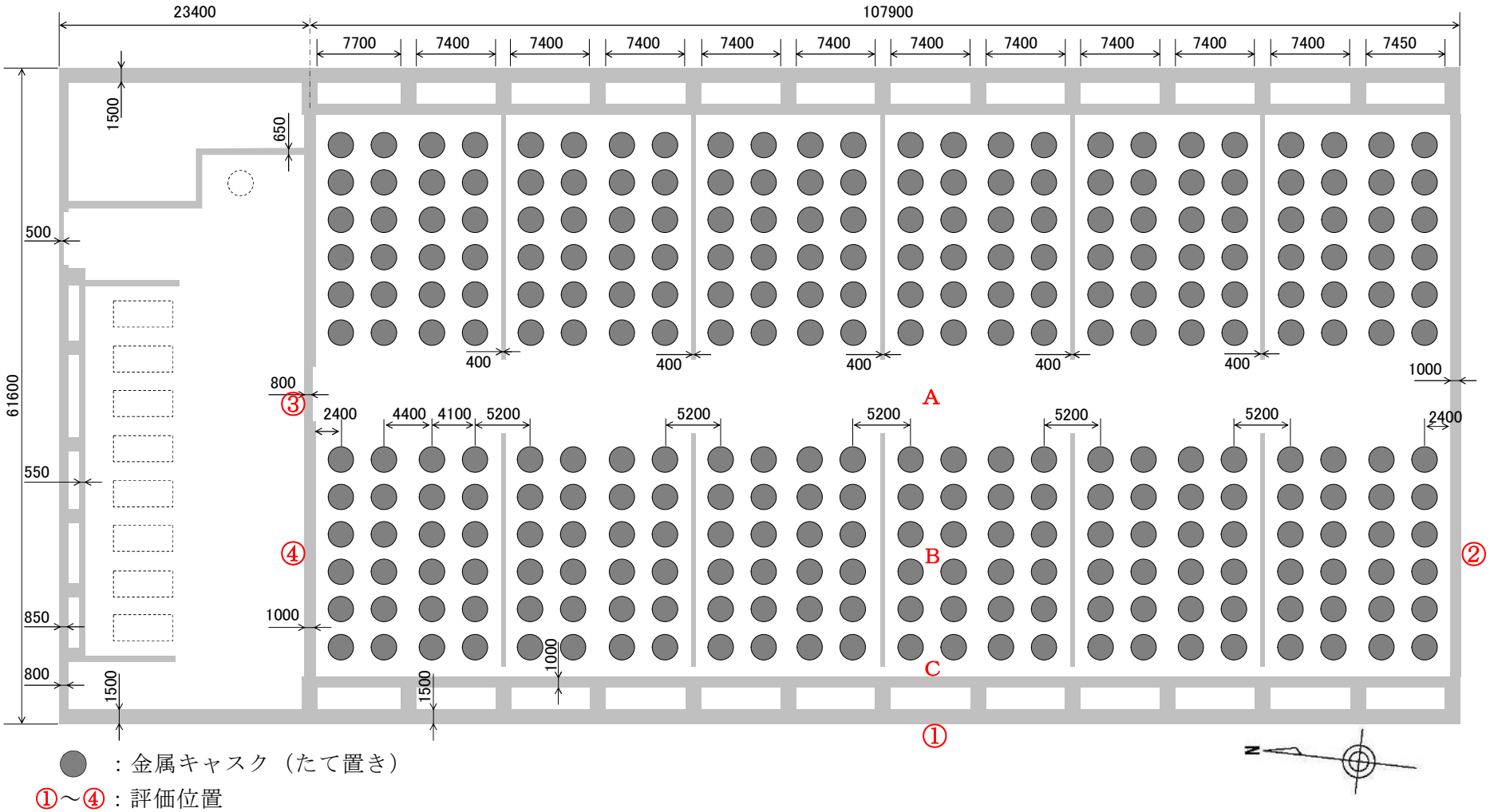
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添 3－2 表（参考）　貯蔵建屋の遮蔽評価結果（貯蔵区域内）

評価位置	線　源	評価結果	備　考
A	中性子 100%	0.28 mSv/h	
	ガンマ線 100%	0.13 mSv/h	
B	中性子 100%	0.60 mSv/h	貯蔵区域最大
	ガンマ線 100%	0.37 mSv/h	
C	中性子 100%	0.32 mSv/h	
	ガンマ線 100%	0.17 mSv/h	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



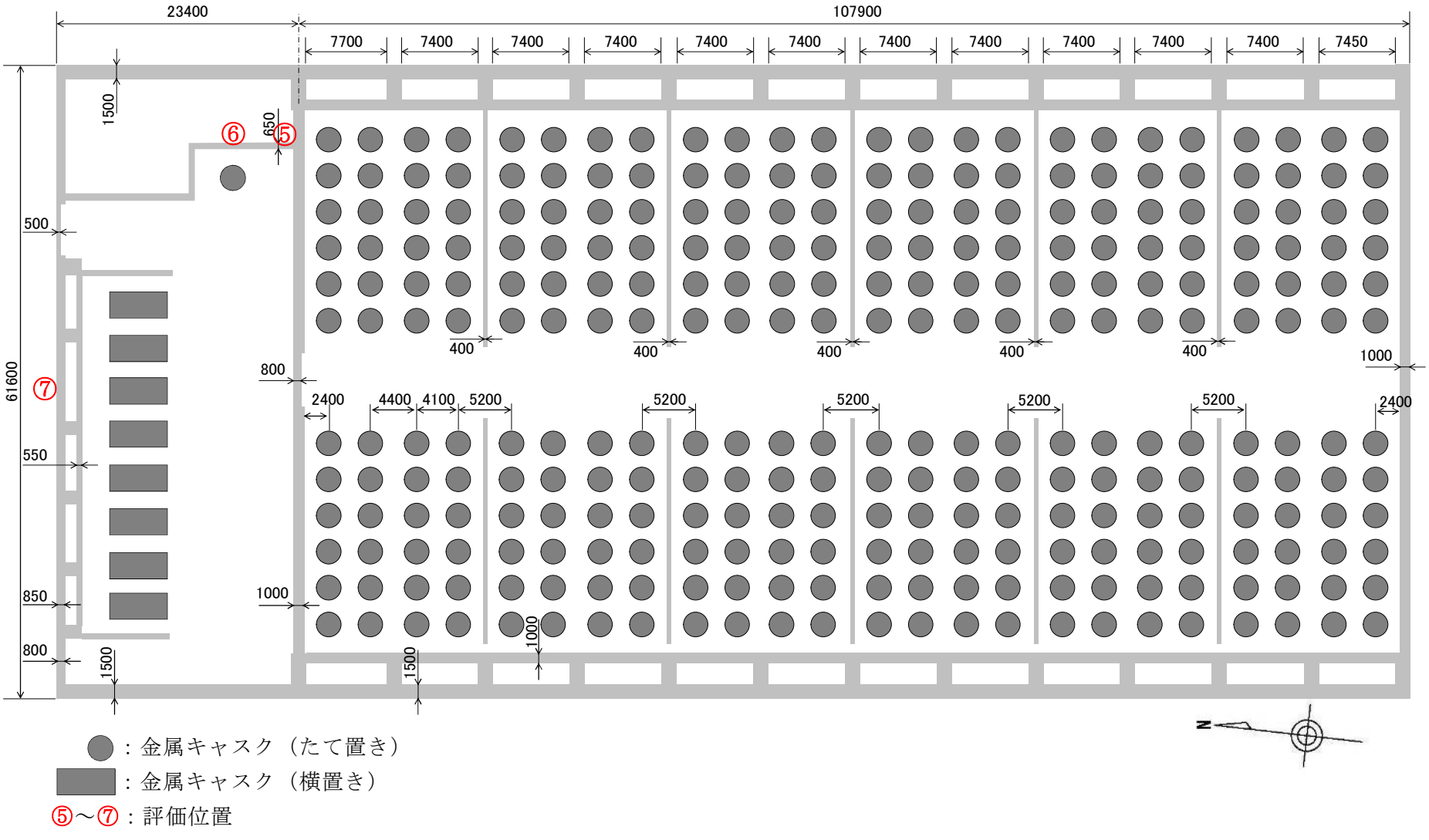
●　：金属キャスク（たて置き）

①～④：評価位置

A～C：評価位置(参考)

別添 3－1 図(1)　貯蔵建屋遮蔽評価における評価位置

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添 3－1 図(2)　貯蔵建屋遮蔽評価における評価位置

別添４

作業線量想定について

1.　放射線業務従事者に対する遮蔽等に関する設計方針

貯蔵建屋は，貯蔵区域，受入れ区域，付帯区域の３つの区域に分けられる。

金属キャスクが仮置きされていない状態の受入れ区域における雰囲気線量は，貯蔵区域に配置されている金属キャスクからの影響を受けることとなる。そこで受入れ区域と貯蔵区域の間に仕切壁（コンクリート厚さ１ｍ），遮蔽扉（金属キャスク搬出入口），迷路（作業員の出入口）等を設けることにより，貯蔵区域に配置されている金属キャスクからの影響を低減して，受入れ区域における雰囲気線量が低くなるように設計する。これにより，受入れ区域に設置されている金属キャスク取扱い設備や放射線監視設備等の保守・点検作業を実施する際の作業員（放射線業務従事者）が適切に防護されると考える。

受入れ作業時の受入れ区域，貯蔵区域における雰囲気線量は，各々の区域に仮置き，または配置されている金属キャスクからの影響が支配的になるため，作業員を防護するためには区域内に遮蔽等を設ける必要がある。しかし金属キャスクの除熱性能維持の観点から，建屋内の遮蔽設計として特別な考慮はせず，入域時間制限や一時的遮蔽体の設置等，所要の防護処置を講ずる。また，必要に応じて事前に作業訓練を行うなど作業時間の短縮を図ることにより，放射線業務従事者の線量を法令で定められている線量限度（100mSv/5年，50mSv/年）を超えないようにすることはもちろんのこと，合理的に達成できる限り低減する。

2.　遮蔽基準について

貯蔵建屋内では，放射線業務従事者の関係各場所への立入頻度，滞在時間及び金属キャスクの配置を考慮した上で，遮蔽設計の基準となる線量率を建屋内の区分に応じて以下のように定め，それを満足するように設計する。（別添４－１表，別添４－１図参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添4－1表　外部放射線に係る設計基準

区　分		外部放射線に係る設計基準	区　域
管理区域外	A	0.0026mSv/h 以下	付帯区域
管理区域内	B	0.01mSv/h 未満	受入れ区域 貯蔵区域
	C	0.01mSv/h 以上	

※　受入れ区域は，金属キャスクが仮置きされていない場合は区分Ｂとなるように設計

【遮蔽区分の考え方】

区分Ａ：付帯区域（監視盤室，チェックポイント等）

滞在時間：500 時間/3 月間（管理区域境界の作業者）

1.3（mSv）/500（時間）＝0.0026mSv/h

区分Ｂ：金属キャスクが仮置きされていない受入れ区域

滞在時間：130 時間/3 月間（2 時間/日×65 日）

1.3（mSv）/130（時間）＝0.01 mSv/h

（機器点検等の作業時における放射線業務従事者の被ばく低減の観点から，管理区域外と同様の考え方で基準を設定。）

区分Ｃ：受入れ区域，貯蔵区域

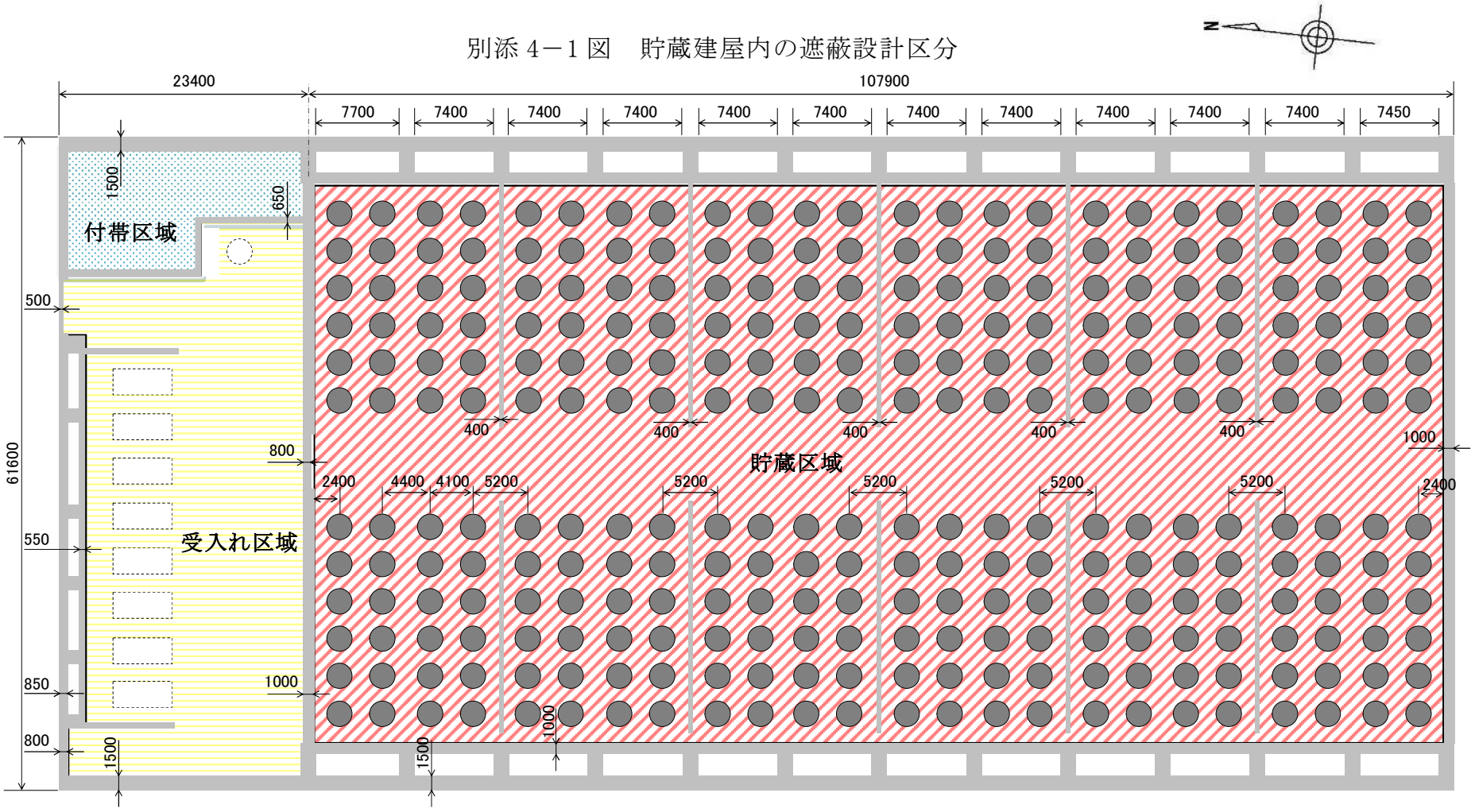
（金属キャスクの除熱機能維持の観点から，建屋内の遮蔽設計として特別な考慮はせず，放射線管理設備及び入域時間制限等の運用により，放射線業務従事者の線量を管理。）

※　外部放射線に係る線量が1.3mSv/3月間を超える区域を管理区域として設定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添 4－1 図　貯蔵建屋内の遮蔽設計区分



：管理区域外　区分 A（0.0026mSv/h 以下）

：管理区域内　区分 B（0.01mSv/h 未満）

：管理区域内　区分 C（0.01mSv/h 以上）

：金属キャスク（たて置き）

：金属キャスク（受入れ作業時：横置き）

：金属キャスク（受入れ作業時：たて置き）

3.　線量想定

貯蔵区域内及び受入れ区域内における放射線業務従事者の線量を評価すると，以下のような結果（詳細は添付１参照）となる。

・貯蔵区域内作業：

年間滞在時間約 115 時間，雰囲気線量を前述の幾何平均値約 0.20mSv/h として評価すると，個人線量が最大となる作業で約 23mSv/年。

・受入れ区域内作業：

金属キャスク仮置き期間中の受入れ区域内の年間滞在時間約 24 時間，雰囲気線量を前述の幾何平均値約 0.03mSv/h として評価すると，個人線量が最大となる作業で約 0.7mSv/年。

・受入れ作業

年間 32 基の金属キャスクの受入れを，全て同じチーム（14 人）で行うとすると，個人線量は 31.1mSv/年。

上記の年間線量は，金属キャスク及び貯蔵建屋の遮蔽解析結果を用いて計算したため，大きな保守性を有している。実際の金属キャスク及び各作業時の線量は，解析結果を大きく下回るものと考えられる。

一例であるが，原子力発電所で構内保管されている金属キャスク（約 19 年冷却）では，金属キャスクから 1ｍの線量当量率は解析値の約１／４である。

個人線量計による日々の線量管理，一時的な遮蔽の利用，事前の作業訓練などにより，放射線業務従事者の線量を法令で定められている線量限度（100mSv/5 年，50mSv/年）を超えないようにすることは可能と考える。

なお，実際の管理については，保安規定・マニュアルで定める個人の被ばく管理にて行うこととしている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付１

貯蔵建屋における作業線量想定

1.　作業線量想定

貯蔵建屋における作業線量想定を，以下のケースに分けて行う。

・貯蔵区域内での作業

・受入れ区域内での作業

・金属キャスク搬入作業

2.　貯蔵区域内で作業する放射線業務従事者の線量管理

貯蔵区域（区分Ｃ）は，金属キャスクの除熱機能維持の観点から，雰囲気線量低減のための遮蔽は行わないため，金属キャスク付近や，貯蔵区域内の通路部等の雰囲気線量は比較的高い線量率となることが想定される。このため，監視設備の点検・校正や機器メンテナンス等のうち，金属キャスクから離れた位置での作業が可能なものは，受入れ区域等の線量率が低いエリアにて実施し，また，金属キャスク付近での作業は，一時的遮蔽の使用，入域時間制限等により，放射線業務従事者の被ばく線量を法令に定められている線量限度 100mSv/5 年以下，50mSv/年以下とすることはもちろん，合理的に達成可能な限り低くなるように努める。

参考として，放射線業務従事者の線量を法令に定められる線量限度以下に管理することの実現可能性を以下に示す。

(1)　放射線業務従事者の滞在時間

貯蔵区域（288 基貯蔵状態）にて実施する主要な作業，作業時間及び放射線業務従事者の年間滞在時間（想定）を添付 1-1 表に示す。

放射線業務従事者の貯蔵区域内における年間滞在時間は，金属キャスク監視設備等の点検・校正作業によるものが最長であり，放射線業務従事者一人あたり年間 115 時間程度と想定される。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　貯蔵区域内の線量

ａ．公衆の線量評価と同一の線源条件（表面から 1ｍでの平均の線量当量率を 100μSv/h となるように規格化）を設定する。

①貯蔵区域中央通路部：約 2.8×10^{2}μSv/h（中性子 100％）
約 1.3×10^{2}μSv/h（ガンマ線 100％）

②貯蔵区域中央部　　：約 6.0×10^{2}μSv/h（中性子 100％）
約 3.7×10^{2}μSv/h（ガンマ線 100％）

③貯蔵区域側壁付近　：約 3.2×10^{2}μSv/h（中性子 100％）
約 1.7×10^{2}μSv/h（ガンマ線 100％）

ｂ．金属キャスク遮蔽解析結果を考慮して線源条件を設定

金属キャスクの遮蔽解析結果から得られた線量当量率及び中性子とガンマ線の比率を用いて，前項ａ．の評価結果から貯蔵区域内の線量率を算出する。

・貯蔵区域内の評価線量が最大となる金属キャスクの部位と表面から 1ｍでの線量当量率と線質の比率

金属キャスクの部位：BWR 用大型キャスク（タイプ２）　側部

金属キャスク表面から１ｍでの線量当量率：77.9μSv/h

金属キャスクの線質の比率：中性子 34％ガンマ線 66％

①～③の線量は以下のように補正される。

①’貯蔵区域中央通路部：約 1.4×10^{2}μSv/h

$$\begin{pmatrix}\text{中 性 子：}7.4\times10^{1}\,\mu\text{Sv/h}\ (280\times77.9/100\times0.34)\\ \text{ガンマ線：}6.7\times10^{1}\,\mu\text{Sv/h}\ (130\times77.9/100\times0.66)\end{pmatrix}$$

②’貯蔵区域中央部　　：約 3.5×10^{2}μSv/h

$$\begin{pmatrix}\text{中 性 子：}1.6\times10^{2}\,\mu\text{Sv/h}\ (600\times77.9/100\times0.34)\\ \text{ガンマ線：}1.9\times10^{2}\,\mu\text{Sv/h}\ (370\times77.9/100\times0.66)\end{pmatrix}$$

③’貯蔵区域側壁付近　：約 1.7×10^{2}μSv/h

$$\begin{pmatrix}\text{中 性 子：}8.5\times10^{1}\,\mu\text{Sv/h}\ (320\times77.9/100\times0.34)\\ \text{ガンマ線：}8.7\times10^{1}\,\mu\text{Sv/h}\ (170\times77.9/100\times0.66)\end{pmatrix}$$

場の線量として①’～ ③’の幾何平均を求める。

貯蔵区域内雰囲気線量：0.20（mSv/h）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　貯蔵区域内における放射線業務従事者の年間線量

放射線業務従事者の年間線量は,貯蔵区域内の年間滞在時間約 115 時間,雰囲気線量を前述の幾何平均値約 0.20mSv/h として評価すると,約 23mSv/年となる。ただし，上記の年間線量は，金属キャスク及び貯蔵建屋の遮蔽解析結果を用いて計算したため，大きな保守性を有している。実際の金属キャスク及び各作業時の線量は，解析結果を大きく下回るものと考えられること，また，作業方法の合理化，作業中における一時的遮蔽の使用，金属キャスクからの距離を確保，入域時間の制限等，放射線業務従事者の線量が合理的に達成可能な限り低くなるよう，適切な運用管理を行うことにより，放射線業務従事者の年間線量を法令に定められている線量限度 100mSv/5 年，50mSv/年を超えないように管理することは可能と考える。

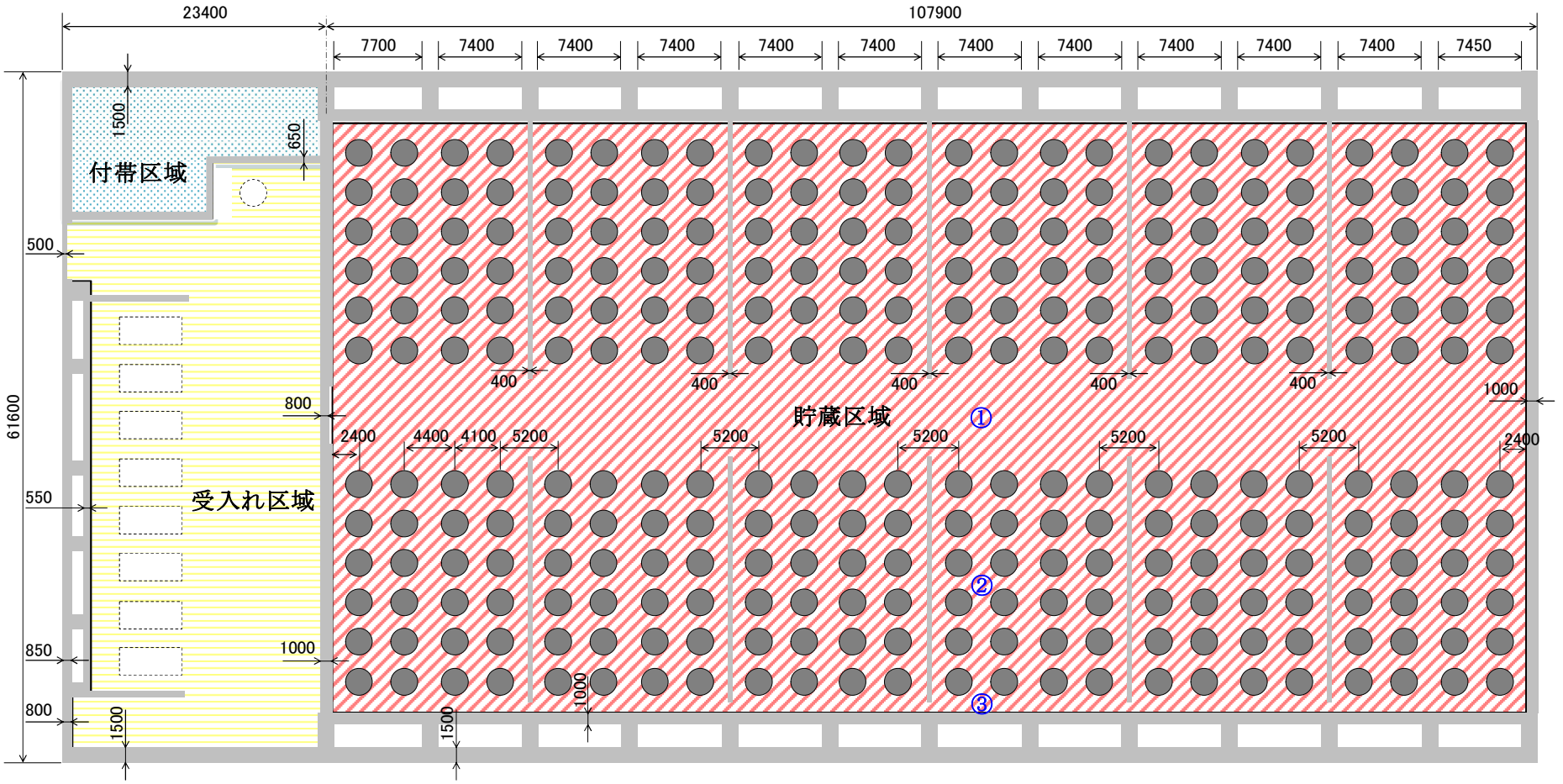
なお，一例であるが，原子力発電所で構内保管されている金属キャスク（約 19 年冷却）では，金属キャスクから 1mの線量当量率は解析値の約１／４である。

貯蔵建屋内の遮蔽設計区分を添付 1-1 図に示す。また，貯蔵建屋貯蔵区域において想定される主要作業における放射線業務従事者の作業時間を添付 1-1 表に，線量を添付 1-2 表に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-1 図　貯蔵建屋内の遮蔽設計区分



：管理区域外　区分 A（0.0026mSv/h 以下）

：管理区域内　区分 B（0.01mSv/h 未満）

：管理区域内　区分 C（0.01mSv/h 以上）

：金属キャスク（たて置き）

①～③：貯蔵区域の評価位置

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-1 表　貯蔵区域（288 基貯蔵状態）内における主要作業及び放射線業務従事者の年間滞在時間（想定）

作業項目	作業概要	実施頻度	作業時間（h）				従事者数（人）及び年間滞在時間（h）		
			作業１回あたり		年間		従事者数		年間滞在時間
巡視・点検	金属キャスク，貯蔵架台等の目視点検 給排気口の異常の有無	１回/日	1.0	５分/区画×12 区画	245	平　日：245h （245 日/年と設定）	4	４人交代制での対応 （１人平均 61.3h）	61.3
					120	休祭日：120h	10	10 人交代制での対応 （１人平均 12h）	12.0
	躯体，扉等の目視点検	１回/月	1.0	貯蔵建屋全体を 1h と想定	12	1h×12	3	３人×１班	12.0
	躯体，扉等の巡視点検	１回/年	60.0	6h/日×10 日と想定	60	60h	5	５人×１班	60.0
	自動火災報知設備点検 消火器点検	１回/6 月	3.0	3h/回と想定	6	3h×2	3	３人×１班	6.0
設備点検・校正	蓋間圧力計点検・校正 表面温度計点検・校正	１回/年	4.0	4h/基	1,152	4h×288 基	30	３人×10班交代制での対応 （１班平均 115.2h）	115.2
	キャスク，貯蔵架台外観検査，塗装等		2.0	2h/基	576	2h×288 基	15	３人×５班交代制での対応 （１班平均 115.2h）	115.2
	エリアモニタ点検・校正 （検出器の取外し・取付）		72.0	・n(取外・取付) 12h×６箇所	72	72ｈ	3	３人×１班	72.0
			96.0	・γ（点検校正） 8h×12 箇所	96	96ｈ	6	３人×２班交代制での対応 （１班平均 48.0h）	48.0
	給排気口温度計点検・校正		8.0	13 箇所/日と想定	16	26 箇所(8h×2)	3	３人×１班	16.0
	その他設備点検（通信設備，ITV 等）		6.0	6h/日と想定	6	6h	6	３人×２班交代制での対応 （１班平均 3.0h）	3.0
放射線測定	集積線量計交換 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	１回/週	1.0	５分/箇所×３箇所 １分/箇所×10 箇所 10 分/箇所×３箇所	52	1h×52 （52 週/年と設定）	4	２人×２班交代制での対応 （１班平均 26h）	92.0
	線量当量率測定 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	１回/月	5.5	２分/箇所×60 箇所 １分/箇所×60 箇所 10 分/箇所×15 箇所	66	5.5h×12		上記４人にて実施	
検査関連	IAEA 査察対応	２回/年	6.0	一律 6h/日と仮定	48	12h(6h×2)	5	検査対応要員として以下を想定。 使用済燃料取扱主任者，総括責任者，責任者，記録者，担当者	48.0
	定期検査対応	１回/年				6h			
	保安検査対応	４回/年				24h(6h×4)			
	核物質防護検査対応	１回/年				6h			
清掃	通路及び給気口付近の簡易清掃	１回/週	1.5	30 分/通路 60 分/給気口付近	78	1.5h×52 （52 週/年と設定）	6	３人×２班交代制での対応 （１班平均 39h）	75.0
	貯蔵区域全域の清掃	１回/月	3.0	30 分/区画×6 区画	36	3h×12		上記６人にて実施	
視察対応	視察者への説明 貯蔵区域内のエスコート	２回/月	0.2	10 分/回と想定	4.8	0.2h×24	2	説明者 エスコート	4.8

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-2 表　貯蔵区域（288 基貯蔵状態）内作業における放射線業務従事者の年間線量（想定）

作業項目	作業概要	年間作業時間（h）	従事者数（人）及び年間滞在時間（h）			貯蔵区域雰囲気線量（mSv/h）	従事者の年間線量		
			従事者数		年間滞在時間		一人あたり（mSv）	総線量（人・Sv）	平均（mSv）
巡視・点検	金属キャスク，貯蔵架台等の目視点検 給排気口の異常の有無	245	4	4 人交代制での対応 （1 人平均 61.3h）	61.3	0.20	12.3	0.049	14.4
		120	10	10 人交代制での対応 （1 人平均 12h）	12.0		2.4	0.024	
	躯体，扉等の巡視点検	12	3	3 人×1 班	12.0		2.4	0.007	
	躯体，扉等の設備点検	60	5	5 人×1 班	60.0		12.0	0.060	
	自動火災報知設備点検 消火器点検	6	3	3 人×1 班	6.0		1.2	0.004	
設備点検・校正	蓋間圧力計点検・校正 表面温度計点検・校正	1,152	30	3 人×10 班交代制での対応 （1 班平均 115.2h）	115.2		23.0	0.691	
	キャスク，貯蔵架台外観検査，塗装等	576	15	3 人×5 班交代制での対応 （1 班平均 115.2h）	115.2		23.0	0.346	
	エリアモニタ点検・校正 （検出器の取付・取外し）	72	3	3 人×1 班	72.0		14.4	0.043	
		96	6	3 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 48.0h）	48.0		9.6	0.058	
	給排気口温度計点検・校正	16	3	3 人×1 班	16.0		3.2	0.010	
	その他設備点検（通信設備，ITV 等）	6	6	3 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 3.0h）	3.0		0.6	0.004	
放射線測定	集積線量計交換 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	52	4	2 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 26h）	92.0		18.4	0.074	
	線量当量率測定 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	66		上記 4 人にて実施					
検査関連	IAEA 査察対応 定期検査対応 保安検査対応 核物質防護検査対応	48	5	検査対応要員として以下を想定。 使用済燃料取扱主任者，総括責任者，責任者，記録者，担当者	48.0		9.6	0.048	
清掃	通路及び給気口付近の簡易清掃	78	6	3 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 39h）	75.0		15.0	0.090	
	貯蔵区域全域での清掃	36		上記 6 人にて実施					
視察対応	視察者への説明 貯蔵区域内のエスコート	4.8	2	説明者 エスコート	4.8		1.0	0.002	

3.　受入れ区域内で作業する放射線業務従事者の線量管理

受入れ区域（金属キャスクの仮置きがない時は区分 B，金属キャスクがある場合には区分 C）は，金属キャスクの除熱機能維持の観点から，雰囲気線量低減のための遮蔽は行わないため，金属キャスクが仮置きされている期間は比較的高い雰囲気線量率となることが想定される。このため，金属キャスク付近での作業では，一時的遮蔽の使用，作業時間制限等により，放射線業務従事者の被ばく線量を法令に定められている線量限度 100mSv/5 年以下，50mSv/年以下とすることはもちろん，合理的に達成可能な限り低くなるように努める。

参考として，放射線業務従事者の線量を法令に定められる線量限度以下に管理することの実現可能性を以下に示す。

(1)　放射線業務従事者の滞在時間

発電所からの金属キャスクの受入れを以下の通り想定する。

・発電所から年間４回の受入れを行う。
・１回の受入れで，金属キャスク８基を２日間で搬入する。
・受け入れた金属キャスクを検査し，貯蔵区域に移送・据付するのに必要な期間を１基あたり１日とする。

以上の想定から，金属キャスクが仮置きされている期間を，年間 40 日（＝４回×（２日＋１日/基×８基））とする。

なお，金属キャスクが仮置きされていない状態では雰囲気線量は十分低いため，被ばく評価は省略する。

受入れ区域（金属キャスクが１基以上仮置き状態）にて実施する主要な作業，作業時間及び放射線業務従事者の年間滞在時間（想定）を添付 1-4 表に示す。放射線業務従事者の受入れ区域内における年間滞在時間は，検査関連（検査・査察等対応）によるものが最長であり，放射線業務従事者一人あたり年間 24 時間程度と想定される。

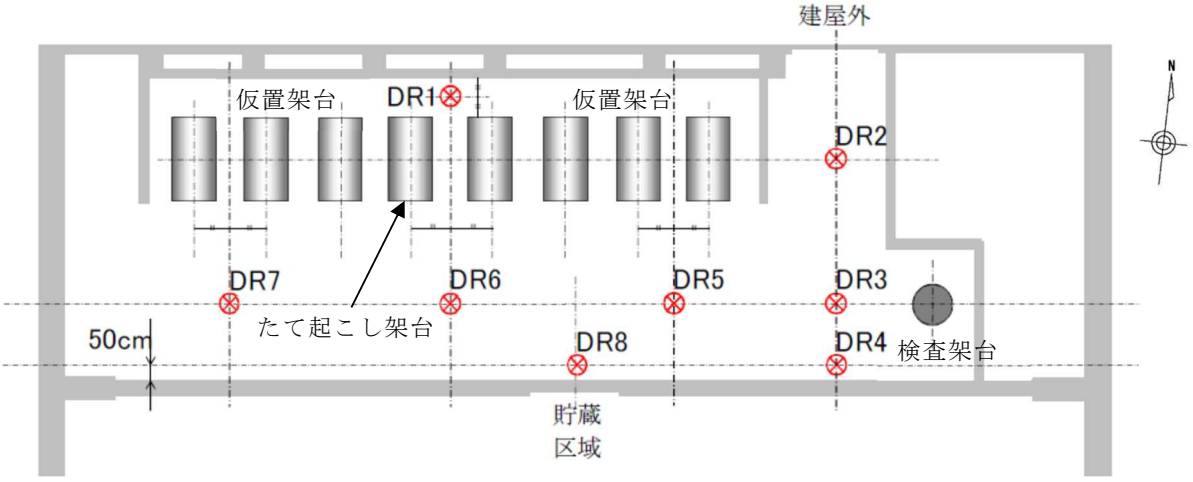
(2)　受入れ区域内の線量

受入れ区域の雰囲気線量の評価については,2.(2)貯蔵区域内の線量と同様に，公衆の線量評価と同一の線源条件（表面から 1m での平均の線量当量率を 100μSv/h となるように規格化）を設定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

金属キャスクの仮置き状態については，保守的に仮置架台に７基，たて起こし架台に１基，検査架台に１基置いた状態での雰囲気線量を評価する。評価点を添付 1-2 図に，評価結果を添付 1-3 表に示す。評価結果を貯蔵区域と同様に金属キャスク解析結果を考慮した値に補正する。

受入れ区域の雰囲気線量（幾何平均値）は，0.03mSv/h と評価する。



添付 1-2 図　受入れ区域の線量評価点（キャスク９基仮置き状態）

添付 1-3 表　受入れ区域の線量評価結果　　単位：μSv/h

評価点	評価線種	評価線種 100%の線量	金属キャスク解析結果を考慮した線量
DR1	n	2.2×10^{2}	1.3×10^{2}
	γ	1.4×10^{2}	
DR2	n	1.4×10^{1}	5.6×10^{0}
	γ	3.6×10^{0}	
DR3	n	6.2×10^{1}	3.2×10^{1}
	γ	3.1×10^{1}	
DR4	n	4.8×10^{1}	2.3×10^{1}
	γ	2.0×10^{1}	
DR5	n	6.4×10^{1}	3.4×10^{1}
	γ	3.3×10^{1}	
DR6	n	7.4×10^{1}	4.0×10^{1}
	γ	3.9×10^{1}	
DR7	n	6.0×10^{1}	3.2×10^{1}
	γ	3.1×10^{1}	
DR8	n	4.8×10^{1}	2.2×10^{1}
	γ	1.9×10^{1}	

DR１～DR８の幾何平均値：29μSv/h

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　受入れ区域内における放射線業務従事者の年間線量

放射線業務従事者の年間線量は,金属キャスク仮置き期間中の受入れ区域内の年間滞在時間約 24 時間，雰囲気線量を前述の幾何平均値約 0.03mSv/h として評価すると，約 0.7mSv/年となり，放射線業務従事者の年間線量を法令に定められている線量限度 100mSv/5 年,50mSv/年を超えないようにすることは可能と考える。

受入れ区域においてキャスク仮置き期間における想定される主要作業と放射線業務従事者の作業時間を添付 1-4 表に，線量を添付 1-5 表に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-4 表　受入れ区域内における主要作業及び放射線業務従事者の年間滞在時間（想定）

作業項目	作業概要	実施頻度	作業時間（h）				従事者数及び年間滞在時間		
			作業１回あたり		年間		従事者数（人）		年間滞在時間（h）
巡視・点検	金属キャスク，貯蔵架台等の目視点検 給排気口の異常の有無確認	１回/日	0.2	10 分/区画×1 区画	8	0.2h×40 日	4	4 人交代制での対応 （1 人平均 2h）	2.0
放射線測定	線量当量率測定 集積線量計交換 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	１回/週	1.0	2 分/箇所× 4 箇所 5 分/箇所× 3 箇所 1 分/箇所×10 箇所 10 分/箇所× 3 箇所	8	1h ×8 （2 週×4 回）	4	2 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 4h）	4.0
検査関連	IAEA 査察対応	１回/年	6.0	一律 6h/日と仮定	24	6h	5	検査対応要員として以下を想定。 使用済燃料取扱主任者，総括責任者，責任者，記録者，担当者	24.0
	定期検査対応	１回/年				6h			
	保安検査対応	１回/年				6h			
	核物質防護検査対応	１回/年				6h			
清掃	通路及び給気口付近の簡易清掃	１回/週	1.0	20 分：通路 20 分：給気口付近 20 分：各架台周り	8	1h×8 回 （2 週×4 回）	6	3 人×2 班交代制での対応 （1 班平均 2h）	4.0
視察対応	視察者への説明 貯蔵区域内のエスコート	4 回/年	0.2	10 分/回と想定	0.8	0.2h×4	2	説明者 エスコート	0.8

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付 1-5 表　受入れ区域内作業における放射線業務従事者の年間線量（想定）

作業項目	作業概要	年間作業時間（h）	従事者数及び年間滞在時間			受入れ区域雰囲気線量（mSv/h）	従事者の年間線量		
			従事者数（人）		年間滞在時間（h）		一人あたり（mSv）	総線量（人・Sv）	平均（mSv）
巡視・点検	金属キャスク，貯蔵架台等の目視点検 給排気口の異常の有無確認	8	4	4人交代制での対応 （1人平均 2h）	2.0	0.03	0.1	0.001未満	0.2
放射線測定	線量当量率測定 集積線量計交換 表面汚染密度測定 空気中放射性物質濃度測定（採取）	8	4	2人×2班交代制での対応 （1班平均 4h）	4.0		0.1	0.001未満	
検査関連	IAEA 査察対応 定期検査対応 保安検査対応 核物質防護検査対応	24	5	5人×1班で対応。 検査対応要員として以下を想定。 使用済燃料取扱主任者，総括責任者，責任者，記録者，担当者	24.0		0.7	0.004	
清掃	通路及び給気口付近の簡易清掃	8	6	3人×2班交代制での対応 （1班平均 4h）	4.0		0.1	0.001	
視察対応	視察者への説明 貯蔵区域内のエスコート	0.8	2	説明者 エスコート	0.8		0.1未満	0.001未満	

4.　受入れ作業に従事する放射線業務従事者

(1)　放射線業務従事者の滞在時間

受入れ作業は，受入れ区域と貯蔵区域にわたって作業を行うことから，それぞれの場所における作業量を想定することとする。平成 26 年に行ったキャスク搬入訓練の状況から，作業場所毎に，作業内容，作業時間について想定し，集約した結果を添付 1-6 表に示す。

添付 1-6 表　受入れ作業の作業人工（金属キャスク 1 基あたり）

	作業人工（人・h）	作業内容別作業員数
受入れ区域内作業	200	4 人～14 人
貯蔵区域内作業	38	5 人～14 人

(2)　受入れ作業線量

受入れ作業は，受入れ区域と貯蔵区域にわたって作業を行うことから，それぞれの場所の雰囲気線量を用いることとする。

受入れ区域での作業時の線量は,3.(2)より保守的に 9 基(仮置架台 7 基，たて起こし架台 1 基，検査架台 1 基）置いた時の雰囲気線量 0.03mSv/h を用いる。

また，貯蔵区域内での作業時の線量は，2.(2)b より 288 基貯蔵時の雰囲気線量 0.20mSv/h を用いる。

(3)　受入れ作業における放射線業務従事者の年間線量

受入れ区域内における放射線業務従事者の年間線量は，添付 1-7 表の様に想定される。

添付 1-7 表　受入れ作業における放射線業務従事者の年間線量

作業区域	キャスク 1 基あたり		年間受入れキャスク数（基／年）	年間総線量（人・mSv/年）
	作業人工（人・h）	雰囲気線量（mSv/h）		
受入れ区域	200	0.03	32	192.0
貯蔵区域	38	0.20		243.2
			合計	435.2

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

仮に，14 人で本作業を行うものとすると，一人あたりの線量は

435.2（人・mSv/年）　÷　14（人）　＝　31.1（mSv/年）

となる。

ただし，上記の年間線量は，金属キャスク及び貯蔵建屋の遮蔽解析結果を用いて計算したため，大きな保守性を有している。また，作業時間や作業人工についても低減の余地はあるものと考える。

実際の金属キャスク及び各作業時の線量は，解析結果を大きく下回るものと考えられること，また，作業方法の合理化，作業の習熟，作業中における一時的遮蔽の使用，金属キャスクからの距離を確保，入域時間の制限等，放射線業務従事者の線量が合理的に達成可能な限り低くなるよう，適切な運用管理を行うことにより，放射線業務従事者の年間線量を法令に定められている線量限度 100mSv/5 年,50mSv/年を超えないようにすることは可能と考える。

なお，一例であるが，原子力発電所で構内保管されている金属キャスク（約 19 年冷却）では，金属キャスクから 1ｍの線量当量率は解析値の約１／４である。

5.　まとめ

放射線業務従事者の線量は，場の線量，個人の被ばく歴を考慮して合理的な作業計画を策定し，必要に応じて，当該区域への立入制限，入域時間制限等を行うことにより，法令に定められている線量限度 100mSv/5 年，50mSv/年を超えないようにすることは可能と考える。

なお，実際の管理については，保安規定・マニュアルで定める個人の被ばく管理にて行うこととしている。

以　上

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５

放射線漏えいの低減措置

「遮蔽設備に開口部又は配管その他貫通部がある場合は，必要に応じ放射線漏えいの低減措置を講ずる」としている。具体的な貫通部箇所及び措置内容には以下の通りである。

貯蔵建屋の機器搬入口，人の出入口（貯蔵区域２箇所，受入れ区域１箇所），貯蔵区域から受入れ区域へのケーブル貫通口（３箇所）が該当し，以下の対策を実施している。

①．機器搬入口：遮蔽扉の設置

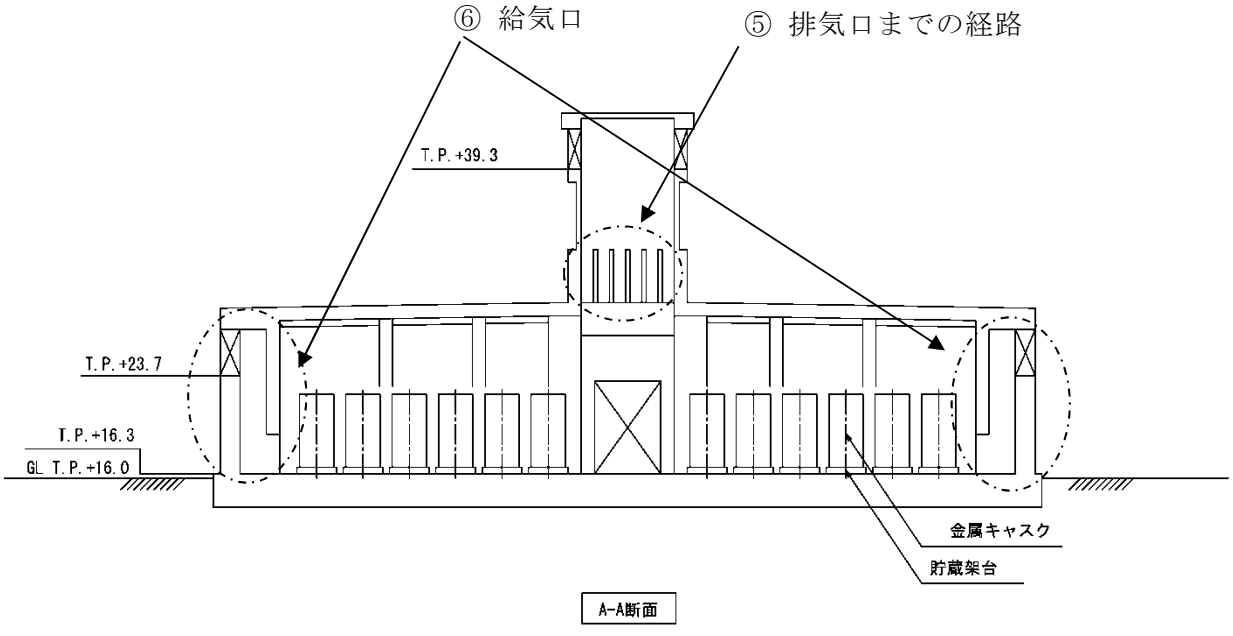
②．人の出入口：迷路＋遮蔽扉

③．人の出入口：迷路

④．ケーブル貫通口：鉛毛マットによる貫通部の隙間を埋める

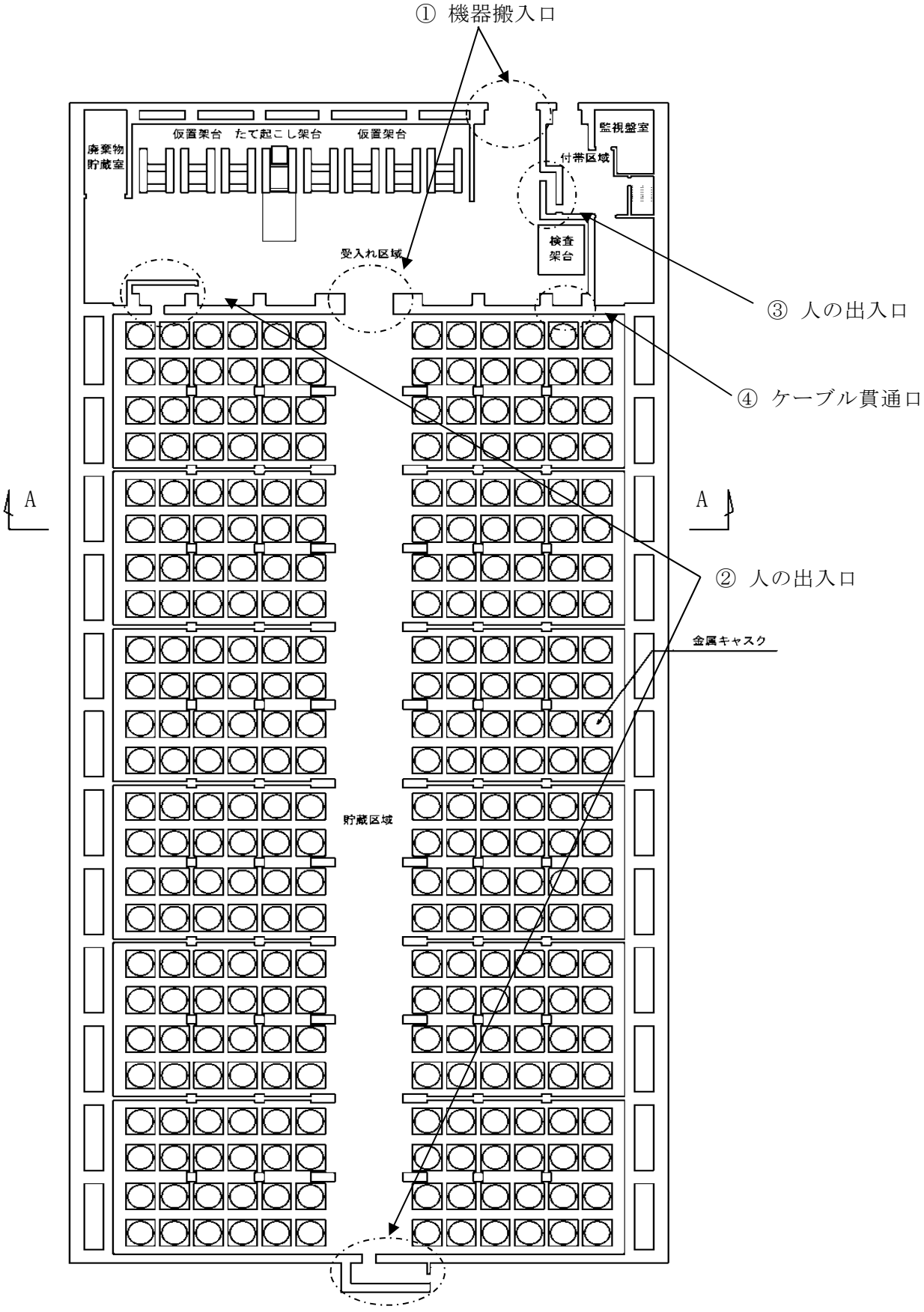
⑤．排気口までの経路：遮蔽ルーバの設置

⑥．給気口：迷路構造の設置



添付 5-1 図　放射線漏えいの低減措置

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付 5-2 図　放射線漏えいの低減措置

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考

貯蔵建屋が無い場合の敷地境界線量について

貯蔵建屋が無い場合の敷地境界線量について，以下の条件にて解析を実施した結果，約 14mSv/年である。

（解析条件）

・金属キャスクの遮蔽評価結果に基づく現実的な線源条件を使用（参考１表）

・貯蔵建屋の壁・天井コンクリートは考慮せず（空気に置換）

・上記以外の評価条件、評価方法は、貯蔵建屋遮蔽設計評価と同一

参考１表　線源条件の比較

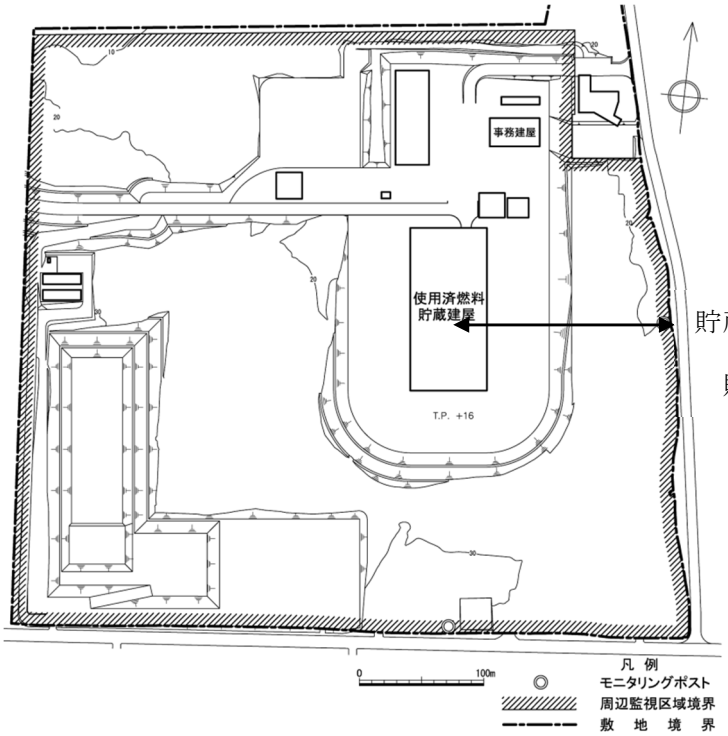
	今回の評価	（参考） 貯蔵建屋の遮蔽設計評価
線源	金属キャスク遮蔽評価結果（表面から１m離れた位置における線量当量率が中性子 26.2μSv/h，γ線 51.7μSv/h）と同等になるように設定	金属キャスク表面から１m離れた位置における線量当量率が 100μSv/h となるように規格化
評価線質	金属キャスク遮蔽評価結果に基づく中性子及びγ線の線質を設定	中性子線 100%とした場合，γ線 100%とした場合のそれぞれを評価し，保守的な評価結果を使用
中性子線及びγ線の表面エネルギースペクトル	同右	コンクリートの透過率が高い包絡スペクトルを設定

≪参考≫貯蔵建屋の遮蔽設計評価の条件にて評価した場合

・中性子線 100%での評価：約 34mSv/年

・ガンマ線 100%での評価：約 10mSv/年

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



参考１図　線量評価点

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第５条　閉じ込めの機能

＜目　次＞

１．設計方針
２．閉じ込め設計
３．閉じ込め性能評価の考え方
４．閉じ込め性能評価結果

（別　添）
別添１　蓋部の閉じ込め機能異常時の対応について
別添２　基準漏えい率の評価方法とその結果
別添３　金属ガスケットの性能について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，使用済燃料等を限定された区域に適切に閉じ込めるため，次の方針に基づき閉じ込め設計を行う。

(1) 金属キャスクは，放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる設計とする。

また，使用済燃料集合体及びバスケットの健全性を維持するため，金属キャスクの内部の空間を不活性雰囲気に保つ設計とする。

(2) 金属キャスクは，蓋部を一次蓋，二次蓋の多重の閉じ込め構造とし，一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより，使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。また，一次蓋と二次蓋との空間部の圧力を測定することにより，閉じ込め機能について監視ができる設計とする。金属キャスクの構造上，漏えいの経路となり得る蓋及び蓋貫通孔のシール部には金属ガスケットを用いることにより長期にわたって閉じ込め機能を維持する設計とする。

(3) 金属キャスクは，貯蔵期間中及び貯蔵終了後において，収納された使用済燃料集合体の検査等のために一次蓋を開放しないことを前提としているため，万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して，二次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には，二次蓋の金属ガスケットを交換し，一次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には，金属キャスクに蓋を追加装着できる構造を有すること等，閉じ込め機能の修復性を考慮した設計とする。

(4) 使用済燃料貯蔵施設では，平常時に放射性廃棄物は発生しないため，放射性廃棄物の処理施設を設置しない。

なお，搬入した金属キャスク等の表面に法令に定める管理区域に係る値を超える放射性物質が検出された場合は，除染に使用した水及び除染液の液体廃棄物並びにウエス等の固体廃棄物はドラム缶，ステンレス製等の密封容器に入れた後，廃棄物貯蔵室に保管廃棄する。

(5) 放射性廃棄物の廃棄施設は，廃棄物による汚染の拡大防止を考慮し，

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

廃棄物貯蔵室を受入れ区域の独立した区画に設け，放射性廃棄物をドラム缶，ステンレス製等の密封容器に入れ，保管廃棄可能な設計とする。また，漏えいが生じたときの漏えい拡大防止を考慮し，廃棄物貯蔵室の出入口にはせきを設ける構造とするとともに，床及び腰壁は，廃水が浸透し難い材料で仕上げる設計とする。

なお，仮想的大規模津波による使用済燃料貯蔵建屋の損傷に備え，廃棄物貯蔵室内に保管廃棄しているドラム缶，ステンレス製等の密封容器が廃棄物貯蔵室外，敷地内及び敷地外への漂流を防止するためドラム缶，ステンレス製等の密封容器を固縛する漂流防止対策を講ずる。漂流防止対策として，水面に浮上するドラム缶は水面に浮上できる大きさのネットで覆い，また，浮上しないステンレス製等の密封容器は深水圧に耐える構造とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　閉じ込め設計

(1)　閉じ込め構造

金属キャスクは，放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため，以下の配慮を行う。

a．金属キャスクは，本体胴及び蓋部により使用済燃料集合体を内封する空間を外部から隔離し，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて負圧に維持する。

b．金属キャスクは，蓋部を一次蓋及び二次蓋の多重の閉じ込め構造とし，その蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより，放射性物質を金属キャスク内部に閉じ込める。また，使用済燃料集合体を内封する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。

c．蓋及び蓋貫通孔のシール部には，長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを用いる。金属ガスケットの漏えい率は，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて,蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが蓋間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料集合体を内封する空間側に漏えいし，かつ，燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても，使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できるように設定し，その漏えい率を満足していることを気密漏えい検査により確認する。

なお，蓋間の圧力が徐々に低下する場合には，適宜，蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。その際，累積のヘリウム充填量を管理し，過剰な充填とならないようにする。

d．金属キャスクは，万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して，三次蓋を追加装着できる構造を有する。

金属キャスクの閉じ込め構造を第１図に，シール部詳細を第２図に，金属ガスケット構造を第３図に示す。

(2)　閉じ込め機能の監視

金属キャスクの閉じ込め機能が確保されていることを適切に監視するため，金属キャスクの蓋間圧力を測定するとともに，監視盤室に表示，

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

記録する。

蓋間圧力が基準設定値より低下したときは，監視盤室及び事務建屋に警報を発するようにする。

蓋間圧力監視装置は，点検中及び不具合時においても蓋間圧力を測定できるよう二系統設ける。

蓋間圧力監視装置の構成を第４図に示す。

(3)　閉じ込め機能の異常に対する措置（具体的な措置を別添１に示す）

蓋間の圧力に異常が生じた場合でも，あらかじめ金属キャスク内部を負圧に維持するとともに，蓋間の圧力を正圧としているので，内部の気体が外部に流出することはない。

蓋間圧力の監視により蓋間の圧力が急激に低下し，閉じ込め機能に異常が認められた場合，以下のとおり対応する。

ａ．圧力監視系の点検を行い，圧力監視系からの漏えいが認められた場合には，漏えい箇所の特定を行い，当該箇所を修復の上貯蔵を継続する。

ｂ．圧力監視系に漏えいがなく，金属ガスケットの漏えいと考えられる場合には，二次蓋金属ガスケットの漏えい試験を行う。漏えい試験の結果，二次蓋に漏えいが認められた場合には，金属キャスク内部が負圧に維持されていることを間接的に確認し，さらに，蓋間圧力の低下の状況及び測定した二次蓋漏えい率より一次蓋の健全性を確認の上，二次蓋の金属ガスケットを交換し，閉じ込め機能を修復して貯蔵を継続する。

ｃ．二次蓋金属ガスケットの漏えい試験の結果，二次蓋に漏えいが認められず，一次蓋の閉じ込め機能が異常であると考えられる場合には，金属キャスクに三次蓋を追加装着し，搬出のために必要な記録とともに，契約先に引き渡す。なお，搬出までの間は金属キャスクを適切に保管する。

閉じ込め機能の異常時の対応手順を第５図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3.　閉じ込め性能評価の考え方

金属キャスクの閉じ込め評価フローを第６図に示す。金属キャスクの閉じ込め性能評価においては，以下の考え方に基づき評価する。（具体的な評価方法を別添２に示す。）

ａ．閉じ込め性能評価では，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間（以下「設計評価期間」という。）にわたって金属キャスク内部の負圧を維持できる漏えい率（基準漏えい率）を求める。

ｂ．漏えい率は，シールされる流体，シール部温度及び漏えいの上流側と下流側の圧力に依存する。したがって，金属キャスク内部圧力変化は，蓋間圧力と金属キャスク内部圧力の圧力差のもとで，ある漏えい率をもつシール部を通して金属キャスク内部へ流入する気体の漏えい量を積分することによって求められる。

ｃ．金属キャスクの閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は，設計評価期間にわたって金属キャスク内部の負圧が維持できるよう設定され，使用する金属ガスケットが確保可能な閉じ込め性能を満足していることを確認する。

ｄ．基準漏えい率を求めるにあたっては，金属キャスク内部の圧力を保守的に評価するため，蓋間圧力は一定とし，蓋間空間のガスは一次蓋から金属キャスク内部側にのみ漏えいするものとして漏えい率の計算を行う。また，大気圧は，気象変化による圧力変動を考慮した値 9.7×10^{4} Pa を用いる。金属キャスク内部空間の圧力の算定においては，使用済燃料の破損率として，米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率（約 0.01％）及び日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（0.01％以下）を考慮し，保守的な値として 0.1％を想定する。

ｅ．なお，発電所搬出前の気密漏えい検査で確認される漏えい率の判定基準（リークテスト判定基準）は，基準漏えい率を下回るように設定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

4.　閉じ込め性能評価結果

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）とも基準漏えい率は，2.4×10^{-6}Pa･m^3/s になる。

金属ガスケットの性能は，金属キャスクのシール部は比較的高温下にあるため，長期貯蔵中のクリープによる金属ガスケットの応力緩和を考慮した上で評価する必要がある。応力緩和による漏えい率の影響については，（財）電力中央研究所で実施の長期密封性能試験結果を通じて，金属ガスケットの漏えい率とラーソンミラーパラメータ（以下「ＬＭＰ」という。）の関係として第７図に整理されている。

金属キャスクの除熱評価における金属ガスケット部の制限温度は 130℃としており，設計評価期間(60 年間)を考慮したＬＭＰは第７図(破線)に示す。

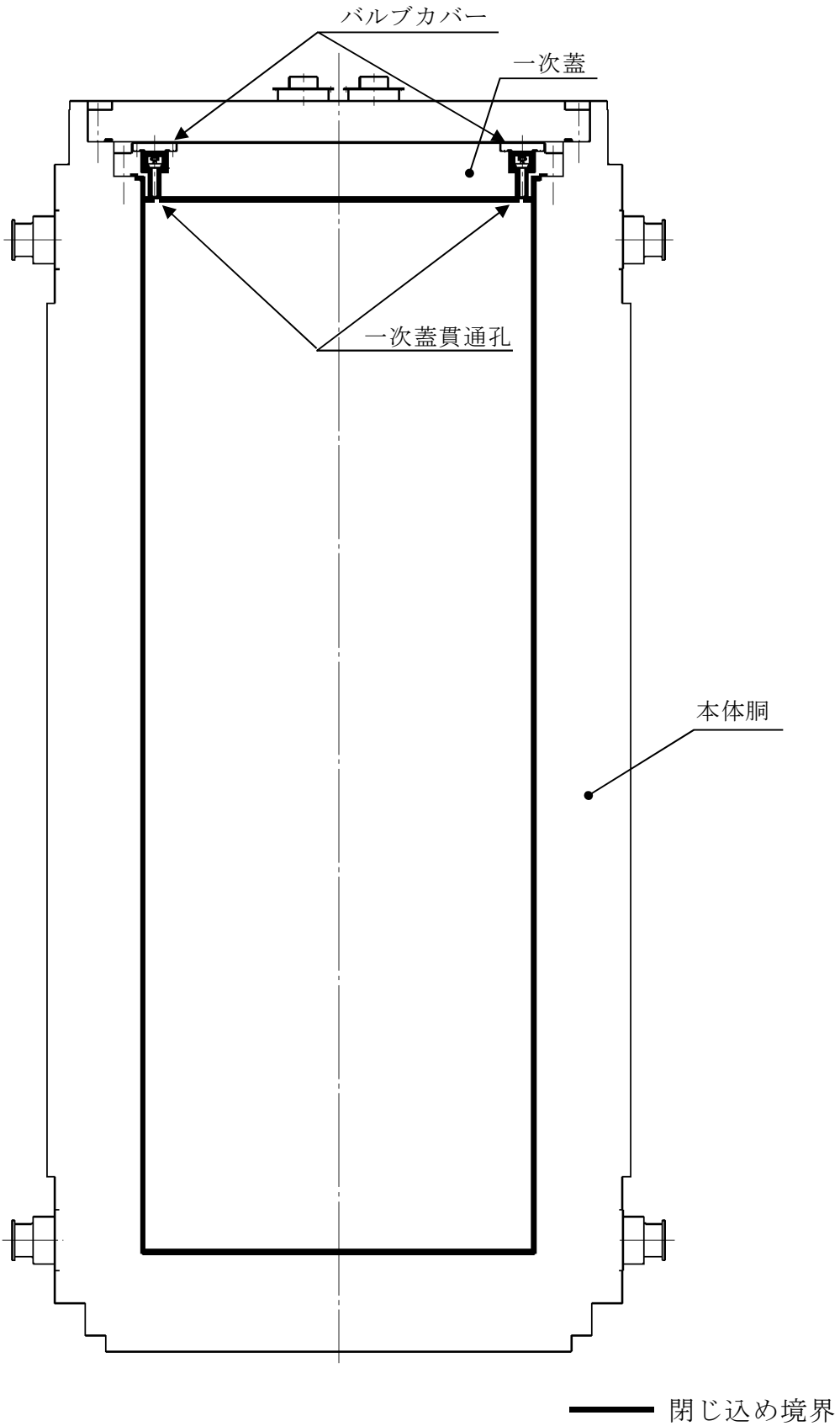
第７図より，金属ガスケットのＬＭＰが約 11×10^3 を超えないように設計すれば，応力緩和を考慮しても初期の漏えい率が維持でき，設計評価期間を通じて 10^{-10}Pa･m^3/s 以下を確保できるとの結果が得られている。

更に，第８図に示す（財）電力中央研究所で実施の実規模のキャスクの蓋モデルによる長期密封性能試験結果において，試験開始から約 18 年６ヶ月（平成２年 10 月から平成 21 年３月）経過した二次蓋閉じ込め部の漏えい率に変化はなく，試験開始時と同等の閉じ込め性能を保持することが確認されている。また，東海第二発電所の乾式貯蔵容器の調査において，約７年間経過した金属ガスケットの一次蓋密封性能は，貯蔵初期と同程度（10^{-10}Pa･m^3/s 程度）の知見が得られている[1)]。

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）で使用する金属ガスケットの設計漏えい率は，使用環境を考慮しても基準漏えい率（2.4×10^{-6}Pa･m^3/s）を満足する。（別添３参照）。

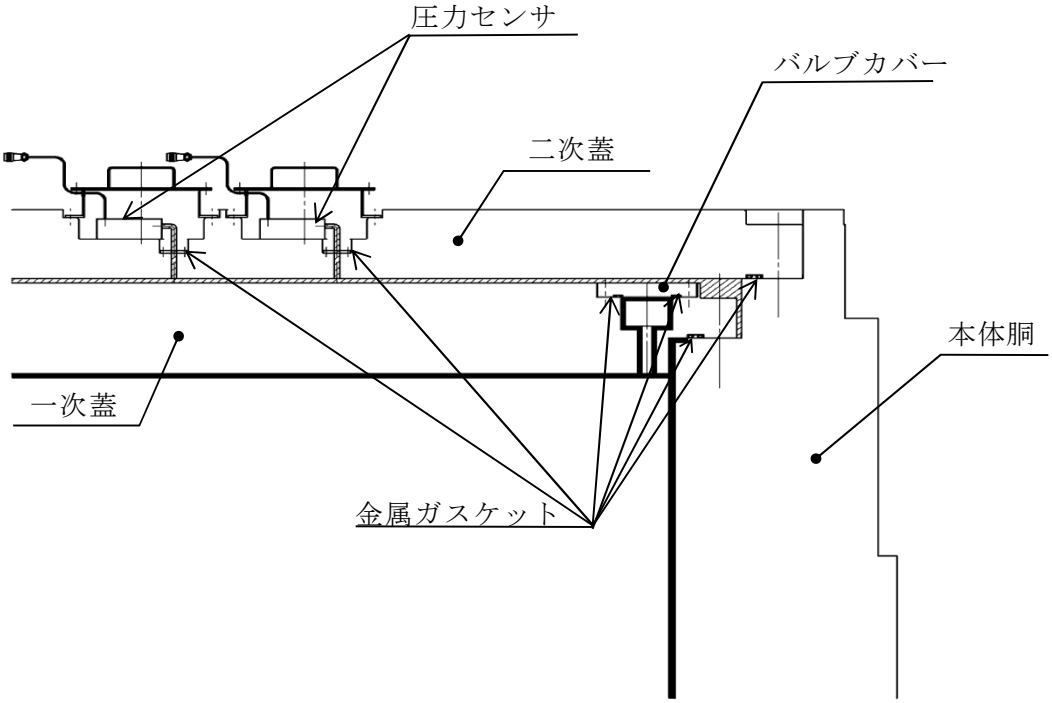
なお，実際に使用する一次蓋，二次蓋の金属ガスケットが所定の漏えい率を満足することは，発電所搬出前の気密漏えい検査において，基準漏えい率を下回るように設定したリークテスト判定基準を満足することを確認する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第１図　金属キャスクの閉じ込め構造

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



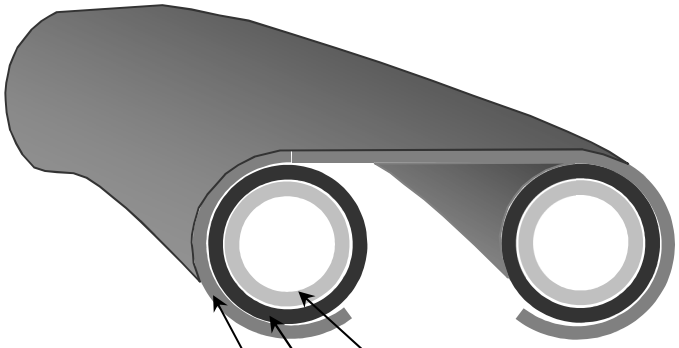
閉じ込め境界(負圧：0.08MPa(初期圧))

閉じ込め監視圧力境界(正圧：0.41MPa(初期圧))

第２図　金属キャスクのシール部詳細

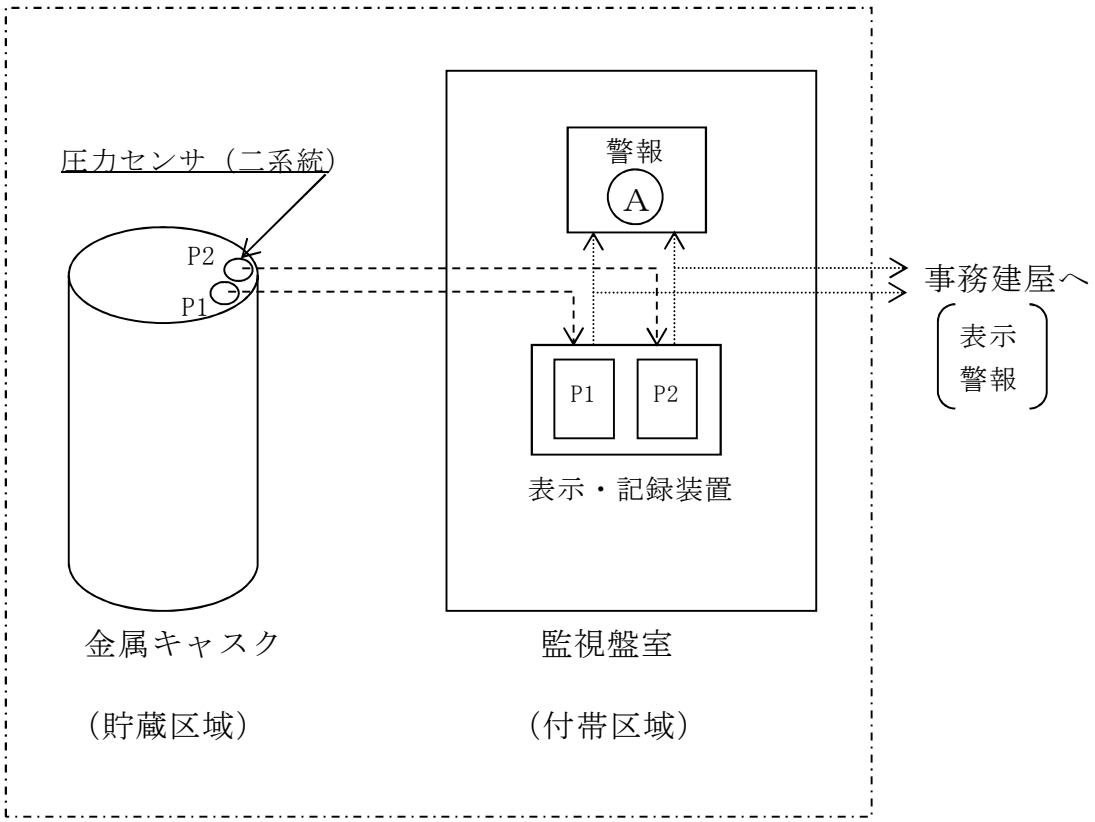
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社





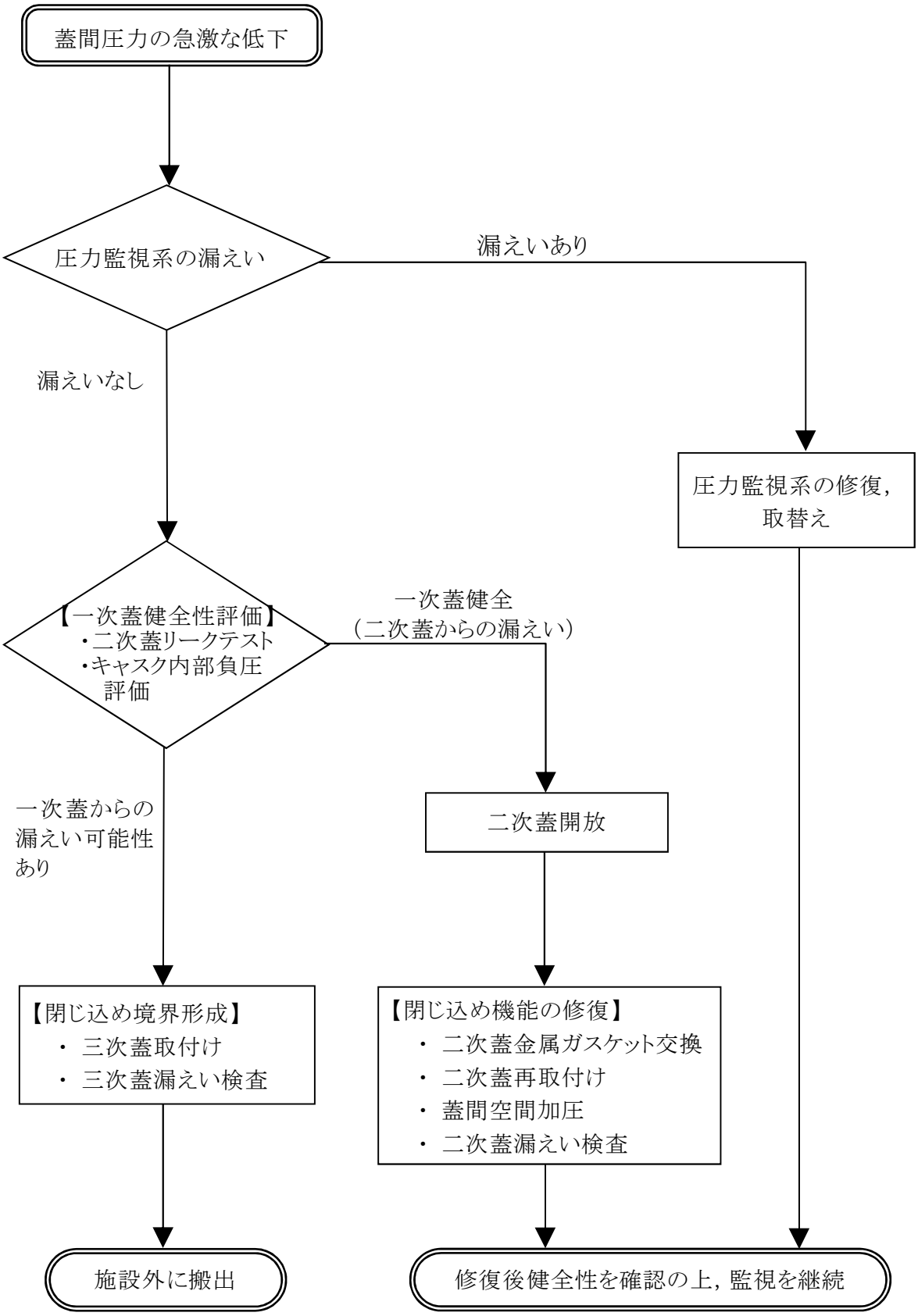
第３図　金属ガスケット構造

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



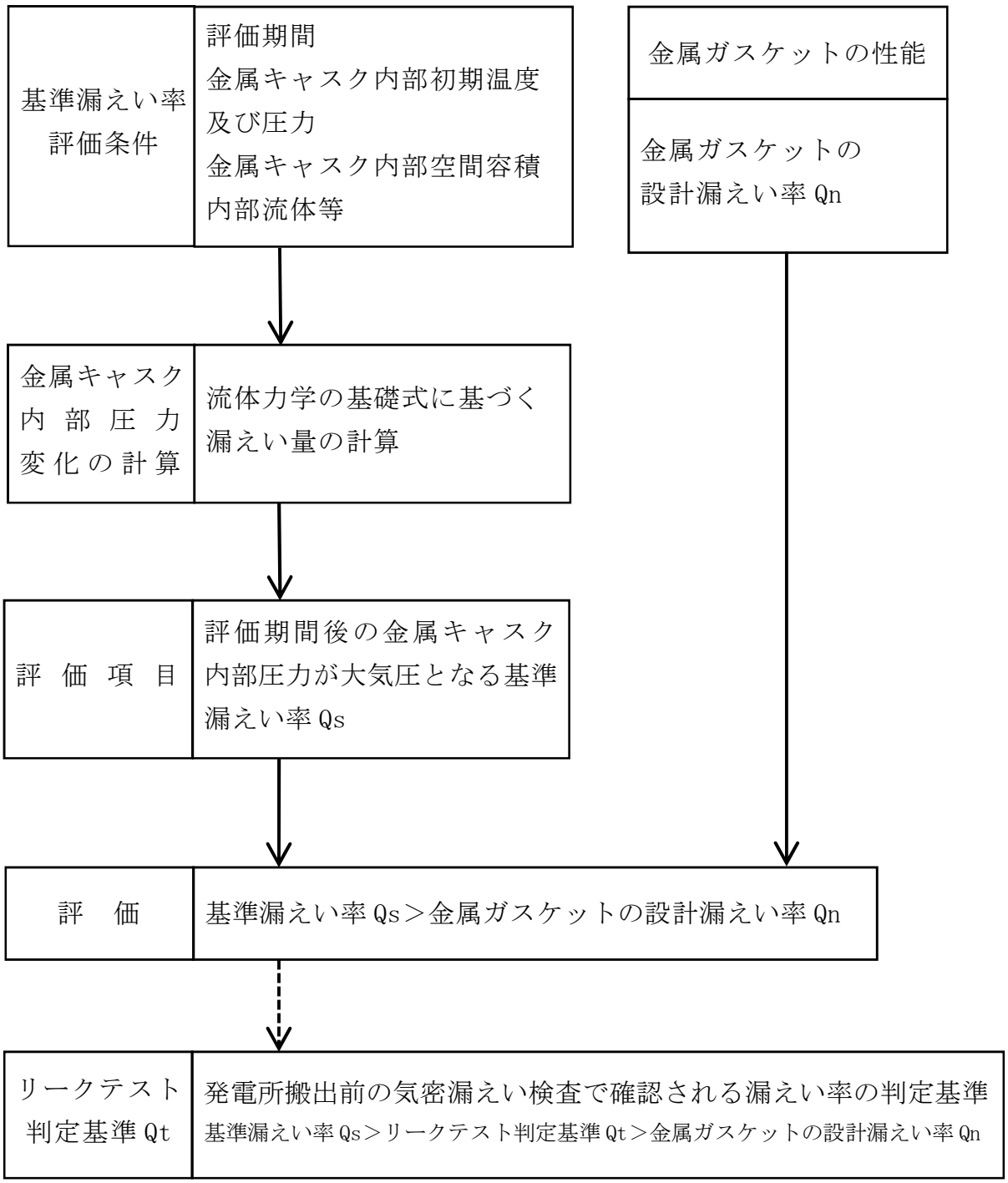
第４図　蓋間圧力監視装置の構成

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



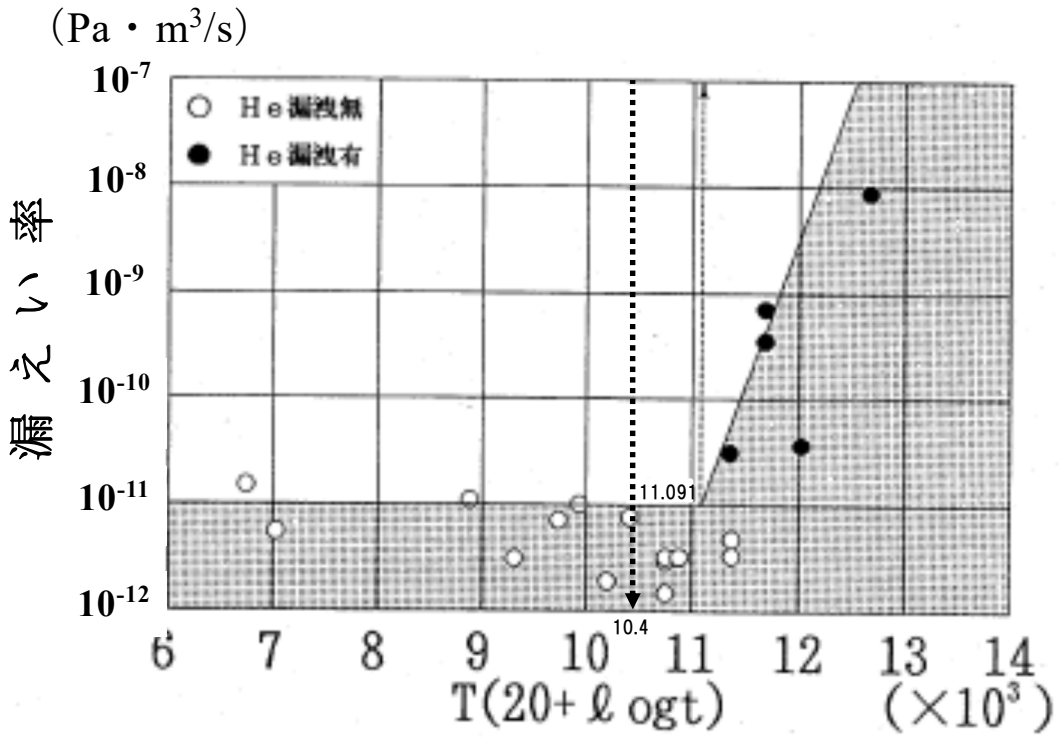
第５図　閉じ込め機能異常時の対応手順

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第６図　金属キャスクの閉じ込め評価フロー

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



$LMP = T \cdot (20 + \log t)$

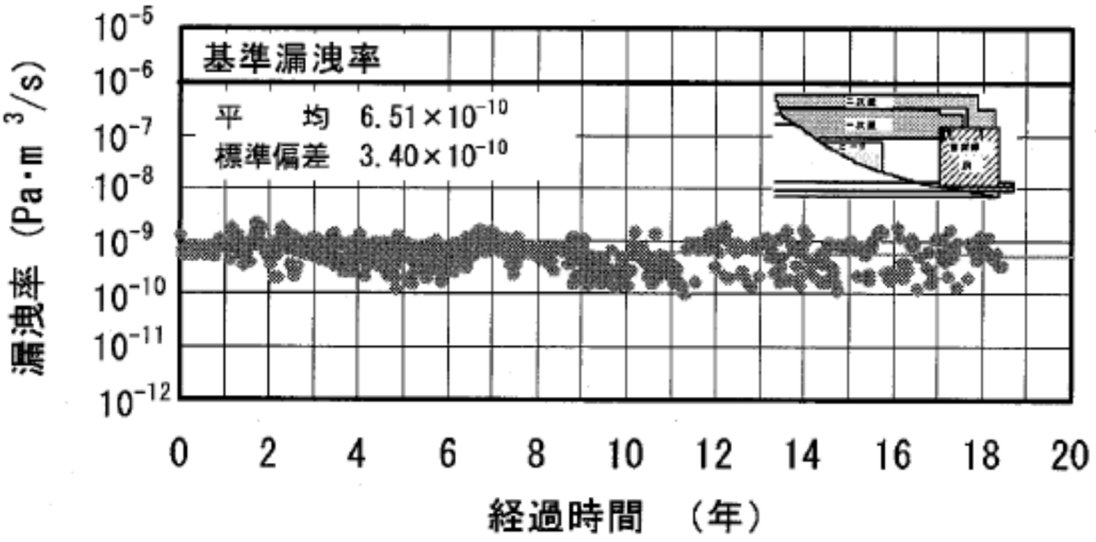
T：**温度**（K）

t ：**時間**（h）

第７図　金属ガスケットの漏えい率と LMP [2)]

《130℃，60 年間の $LMP = 10.4 \times 10^3$》

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第８図　金属ガスケット（二次蓋）の長期密封性能試験結果

（漏えい率の経時変化）[2)]

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考文献

1) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ,「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」,（平成 21 年 6 月 25 日）

2) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010」(AESJ-SC-F002：2010),（一社)日本原子力学会,（2010 年 7 月）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１

蓋部の閉じ込め機能異常時の対応について

1.　蓋間圧力低下時の対応

蓋間圧力については，警報の他に圧力の経時的な変化についても監視を行う。

「蓋間の圧力が急激に低下する場合」は，蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化が有る状態（基準漏えい率を超える場合）を意味し，蓋間圧力の経時変化（圧力低下）として観測されることになる。その場合には，外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み，漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファー法））により漏えい箇所を調査し，漏えいが認められれば，二次蓋金属ガスケットの交換，蓋間圧力監視装置の継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

「徐々に圧力が低下する場合」とは，通常の状態（基準漏えい率以下）を意味し，蓋間圧力の低下は年単位で非常にゆっくりした変化であることから，運用管理面では蓋間圧力が警報設定値に達すれば，ヘリウムの再充填を行うこととなる。

蓋間空間に約 10 回を超える再充填が必要となる可能性が予見される場合は，金属キャスク搬出の検討を行う。

(1)　蓋間圧力監視装置からの漏えい時の対応

蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図（表示，記録装置を除く）を別添１－１図に示す。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部で漏えいの可能性がある部位としては，溶接部，継手部及びガスケット部を想定している。外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み，漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファー法））により，漏えい箇所の特定を行う。漏えいが認められた場合には，蓋間圧力監視孔の金属ガスケット交換，継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。（添付１参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　蓋部からの漏えい時の対応

事業許可基準規則への適合及び貯蔵事業における万全の安全確保のために，閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。(添付２参照)

万一，二次蓋金属ガスケットの漏えいが考えられる場合には，二次蓋金属ガスケットの漏えい試験を行う。蓋間にはヘリウムが充填されているため，ヘリウム漏れ試験により，漏えい確認ができる。

金属ガスケットは眼鏡型構造になっており，その内側に連通しているリークチェック孔に，ヘリウムリークテスト装置をつなぎ，内部を吸引することで，蓋間側の金属ガスケット（内側）のヘリウム漏れの検出を行う。

万一，二次蓋に漏えいが認められた場合には，金属キャスク内部が負圧に維持されていること及び一次蓋の健全性を確認の上，二次蓋の金属ガスケットを交換し，閉じ込め機能を修復して貯蔵を継続する。(添付３参照)

二次蓋に漏えいが認められず，一次蓋の閉じ込め機能が異常であると考えらえる場合には，金属キャスクに蓋を追加装着し，搬出のために必要な記録とともに，契約先に引き渡す。

一次蓋及び二次蓋を貫通する孔については，別添１－２図に示す。

2.　再充填に係る基準

(1)　再充填を行う基準

蓋間圧力が警報設定値(0.27MPa) まで低下した場合に再充填を行う。

蓋部の漏えい率が基準漏えい率程度の漏えいであると仮定した場合の蓋間空間の圧力低下の推移を別添１－３図に示す。この場合約[　]年で警報設定値に達し，圧力障壁を維持するために，蓋間空間にヘリウムを再充填することが必要となる。

(2)　再充填の管理基準（過剰な充填となる基準）

キャスク内部圧力が 0.08MPa（初期圧力：負圧）から 0.097MPa（大気圧下限）になるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定すると，蓋間累積圧力低下量は[　]MPa と評価出来ることから，[　　]で約 10 回再充填できる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

蓋間累積圧力低下量[　　]MPaは，以下のようになる。

$\Delta Po \times Vo/To = \Delta P1 \times V1/T1$

Vo　：キャスク内部容積(m^3)

V1　：蓋間容積(m^3)

To　：キャスク内部温度(K)

T1　：蓋間温度(K)

ΔPo：キャスク内部圧力上昇量(MPa)

$\Delta P1$：蓋間圧力の累積圧力低下量(MPa)

$\Delta P1 = \Delta Po \times Vo/To \times T1/V1$

＝[　　]

参考までに，別添１－４図に東海第二発電所の実績相当（貯蔵開始時の初期圧力及び貯蔵開始から７年後に調査した際の一次蓋漏えい率 9.0×10^{-11} Pa･m^3/s より試算）での評価を示す。実際の運用では，貯蔵期間中の蓋間空間へのヘリウム再充填は不要と考えられる。あわせて，何らかの異常により一次蓋と二次蓋の漏えい率が基準漏えい率の５倍に増加した場合の蓋間圧力の低下挙動を示す。漏えい率の著しい変化は蓋間圧力の経時変化として観測されることになる。

3.　負圧維持管理

金属キャスクの蓋部は一次蓋，二次蓋の二重構造としている。金属キャスク内部は負圧とし，蓋間空間はあらかじめ正圧とすることにより，圧力障壁を設ける。

使用済燃料集合体は収納条件を満足した燃料であること※1，国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと，キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり，輸送及び貯蔵期間中に外力により燃料が破損してキャスク内部の圧力が上昇することはないこと，また，キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないことを確認しており，漏えいが発生する可能性はないことから，キャスク内部の圧力が上昇する要因は，蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って，蓋間圧力を測定・監視することにより，間接的にキャスク内部の負圧維持を確

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

認することができる。（添付４参照）

蓋間圧力の経時変化が基準漏えい率を超えない低下である場合は，圧力障壁を維持するために，適宜，蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。金属キャスク内部圧力が，初期圧力0.08MPaから大気圧下限0.097MPaになるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定して約10回再充填できる。

すなわち，再充填回数を把握し，過剰な充填とならないように管理することで，間接的に負圧維持を確認できる。

閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用について添付５に示す。

※１：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて，原子炉等規制法第59条に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。

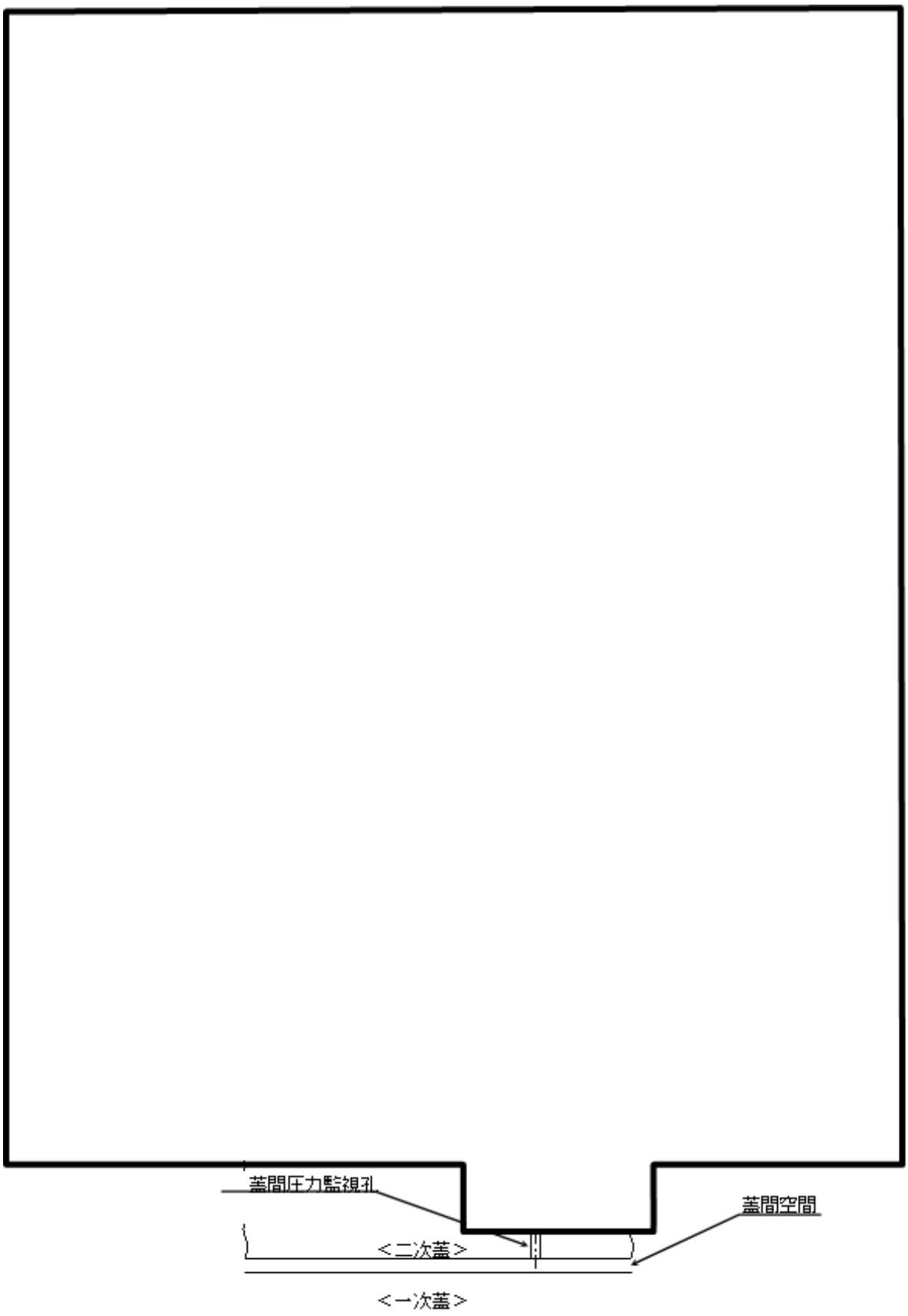
4.　三次蓋の取付け及び搬出（添付６，添付７参照）

金属キャスクは，万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して，三次蓋を追加装着できる構造を有する。一次蓋の漏えい率が基準漏えい率を超えると判断される場合は，使用済燃料貯蔵施設では一次蓋を開放しないことから，貯蔵前・後の輸送と同じように三次蓋を装着することで，輸送に必要な放射性物質の密封境界を再形成し，搬出する。

搬出に当たっては，三次蓋を取り付け，気密漏えい検査等輸送に必要な検査を行い，構外輸送の基準に適合することを確認し，施設外に搬出する。

なお，施設から搬出までの間は，輸送物の状態で貯蔵施設内の受入れ区域に仮置きする。

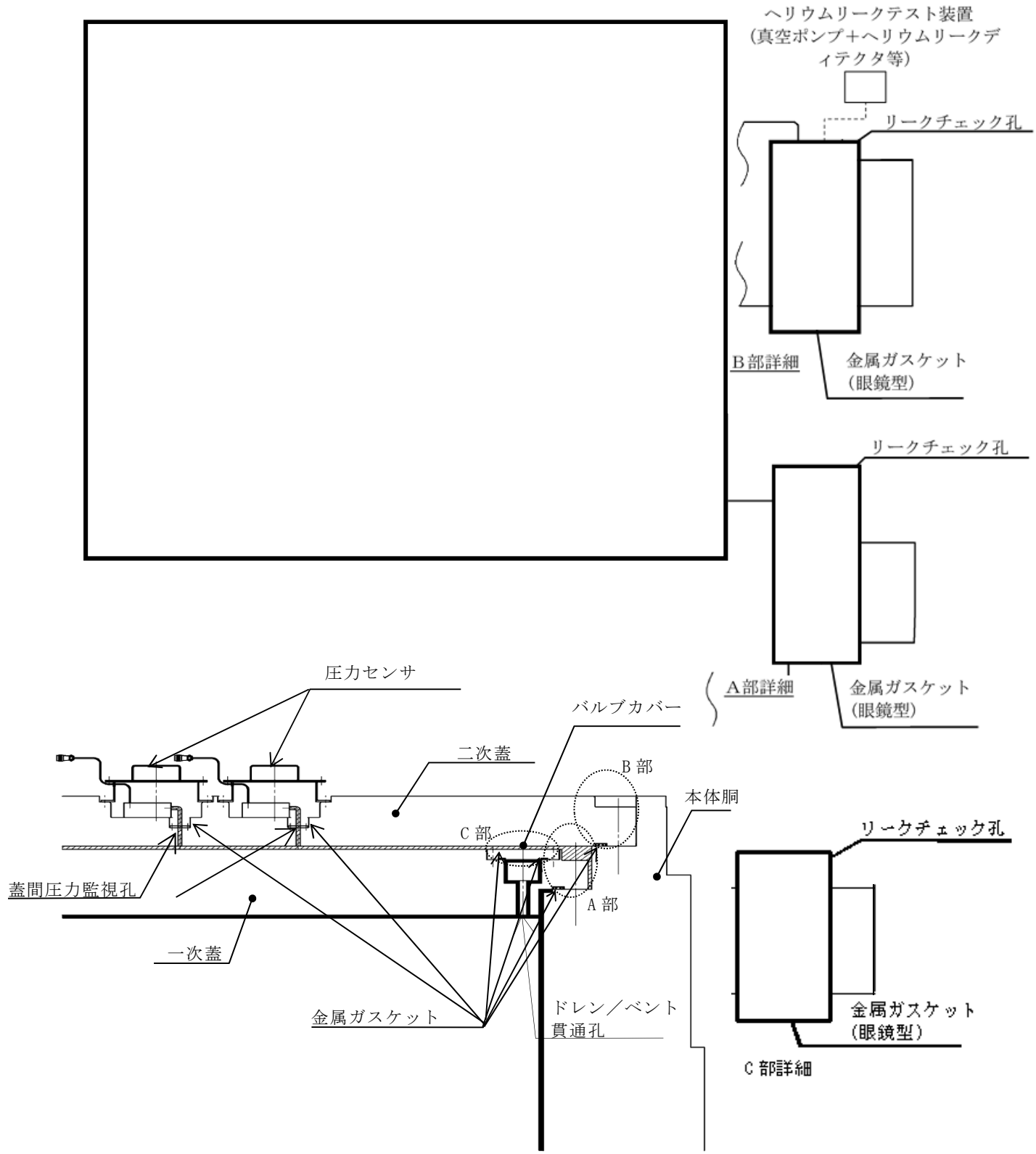
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－１図　蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

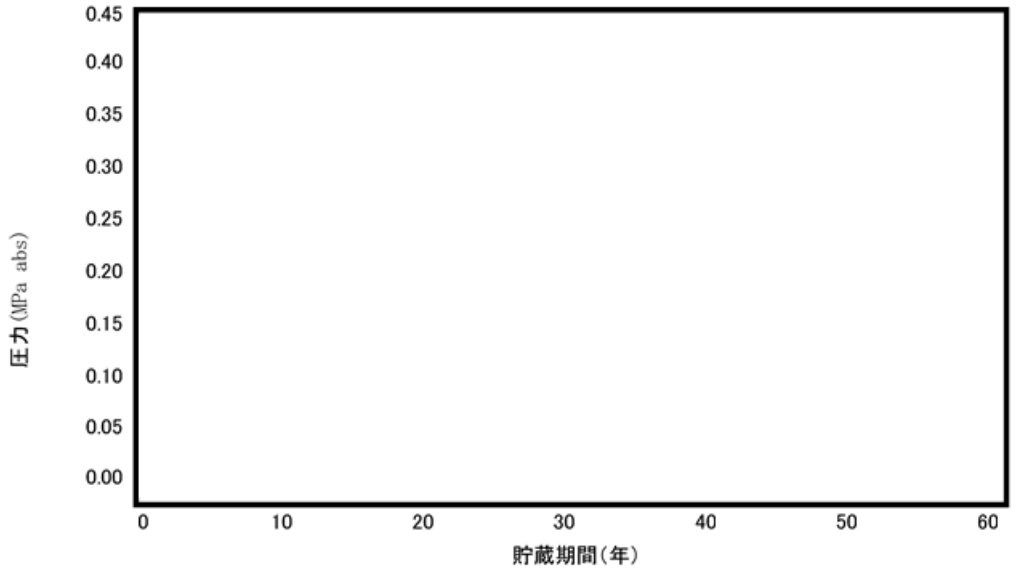
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添１－２図　貫通孔及び金属ガスケットによるシール部の構成図
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

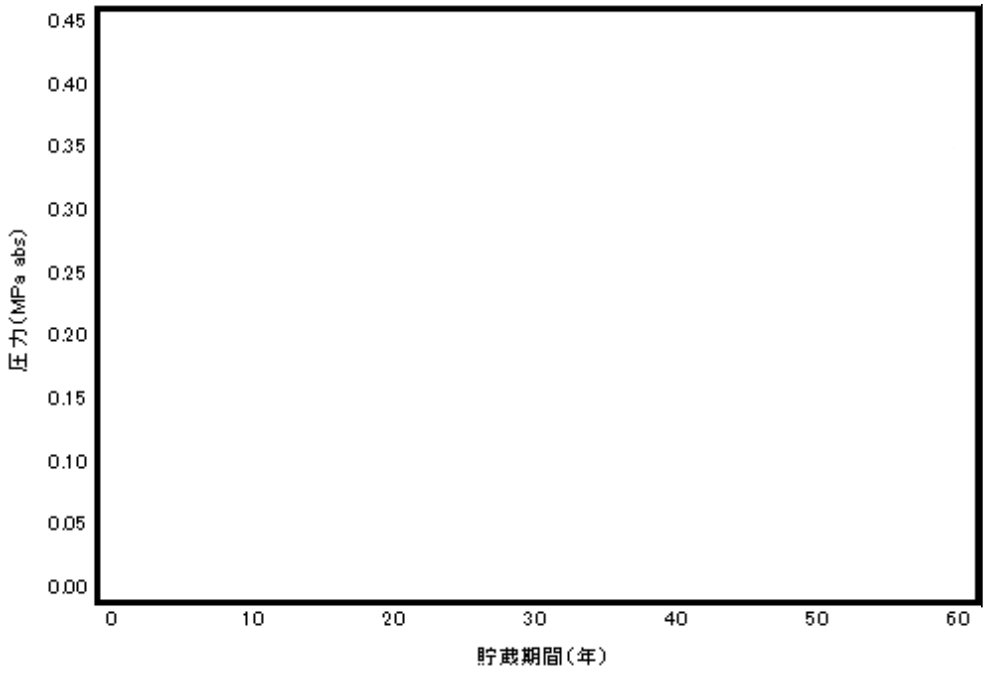
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



別添１－３図　基準漏えい率程度で漏えいした場合の蓋間圧力の経時変化

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））



別添１－４図　蓋間圧力の経時変化（基準漏えい率の影響）

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付１

蓋間圧力監視装置のバルブの保守管理について

圧力センサの保守管理は校正を１回/年程度とし,蓋間圧力監視装置は二系統の構成になっており，圧力検出部の一次バルブを閉にすることで，一方の蓋間圧力監視装置で蓋間圧力を測定しながら，蓋間圧力を開放することなく，校正や交換等が可能である。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部で想定される事象として，溶接部，継手部及びガスケット部からの漏えいと，点検等に伴うバルブの開閉操作の繰り返しによる弁座のシートパスがある。漏えい箇所の特定は，外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み，漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファー法)）により行う。漏えいが認められた場合には，蓋間圧力監視装置の金属ガスケット交換，継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

最も漏えいの可能性のある部位は，貯蔵施設内で組み立てる継手部で，蓋間圧力監視装置の一次バルブを閉にすることで蓋間圧力と分離できるため，漏えいが認められた場合は，継手部点検（例:増締め）や部品交換を行う。万が一，蓋間圧力監視孔の金属ガスケット部から漏えいした場合には，二次蓋金属ガスケットの交換と同様に，蓋間圧力開放の可否を判断したうえで，蓋間圧力監視孔の金属ガスケットの交換を行う。

バルブ弁座のシートパスについては，二次バルブの場合は一次バルブを閉止して交換作業を行う。一次バルブの場合は二次蓋金属ガスケットの交換と同様に，蓋間圧力開放の可否を判断したうえで，蓋間圧力監視孔の金属ガスケットを含め一次バルブの交換を行う。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付２

蓋部の閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因と発生防止策

事業許可基準規則への適合性及び貯蔵事業における万全の安全確保のために，万一，蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化があるような状態（基準漏えい率を超えているような状態）に対して，二次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には，二次蓋の金属ガスケットを交換し，一次蓋に異常がある場合には，金属キャスクに蓋を追加装着できる構造とする等，閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因（添付２－１表）に対しては，発生防止策をとることから，その発生の可能性はきわめて低い。

貯蔵期間中は，金属キャスクの蓋間圧力を監視することより長期的な影響が生じたとしても，閉じ込め機能の低下を検知できる構造となっている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付２－１表　閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因及び発生防止策

異常状態	要　因	発生防止策	
		作業手順	検査・監視
蓋部（一次蓋又は二次蓋）の漏えい率の著しい変化	金属ガスケット取付け不良	・ 適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・ 原子炉設置者による金属ガスケット装着前のシール面等に異物がないことの確認	・ 原子炉設置者による発電所搬出前の気密漏えい検査による確認 ・ 当社による貯蔵中の金属キャスク蓋間圧力監視により，閉じ込め機能低下を検知可能
	締付ボルト取付け不良	・ 適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・ 原子炉設置者による蓋ボルト締付け時におけるトルク管理	
	金属ガスケットの水分による腐食	・ 適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・ 原子炉設置者による以下の確認 ① 真空乾燥プロセス記録管理（真空乾燥時間，圧力）により，真空乾燥が適切に行われたことの確認 ② 真空乾燥後のヘリウムを充填した状態で湿分測定を行い，実際に水分を確認 ③ 残留水分除去の徹底（仕立て時の隙間等へのエアブローや拭き取り等）	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

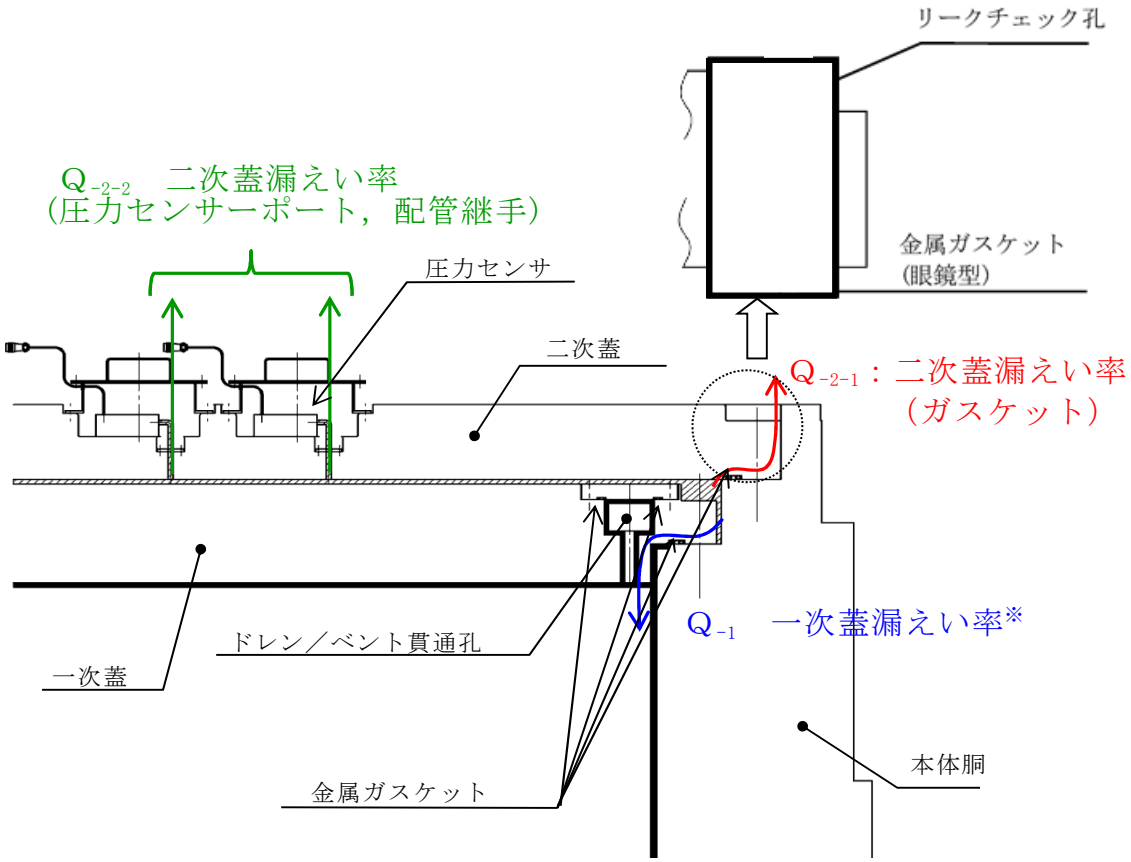
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付３

一次蓋の健全性確認の基本的考え方

蓋間圧力の低下の状況及び測定した二次蓋漏えい率より一次蓋の健全性を確認する基本的な考え方を添付３－１図に示す。

Ｑ：全体漏えい率　※蓋間圧力降下をもとに算出
Q_{-1}：一次蓋漏えい率（測定不可）
Q_{-2}：二次蓋漏えい率（$Q_{-2-1}+Q_{-2-2}$）　※ヘリウムリークテスト装置により実測
Q_{-2-1}：二次蓋ガスケット漏えい率
Q_{-2-2}：圧力センサーポート（配管継手含む）漏えい率
$Q=Q_{-1}+Q_{-2}$
$Q_{-1}=Q-Q_{-2}$　※一次蓋漏えい率が判定基準を満足していることを確認する。



※　一次蓋漏えい率Q_{-1}＝一次蓋ガスケット漏えい率　＋
ドレン／ベント貫通孔ガスケット漏えい率

添付３－１図　確認の基本的な考え方

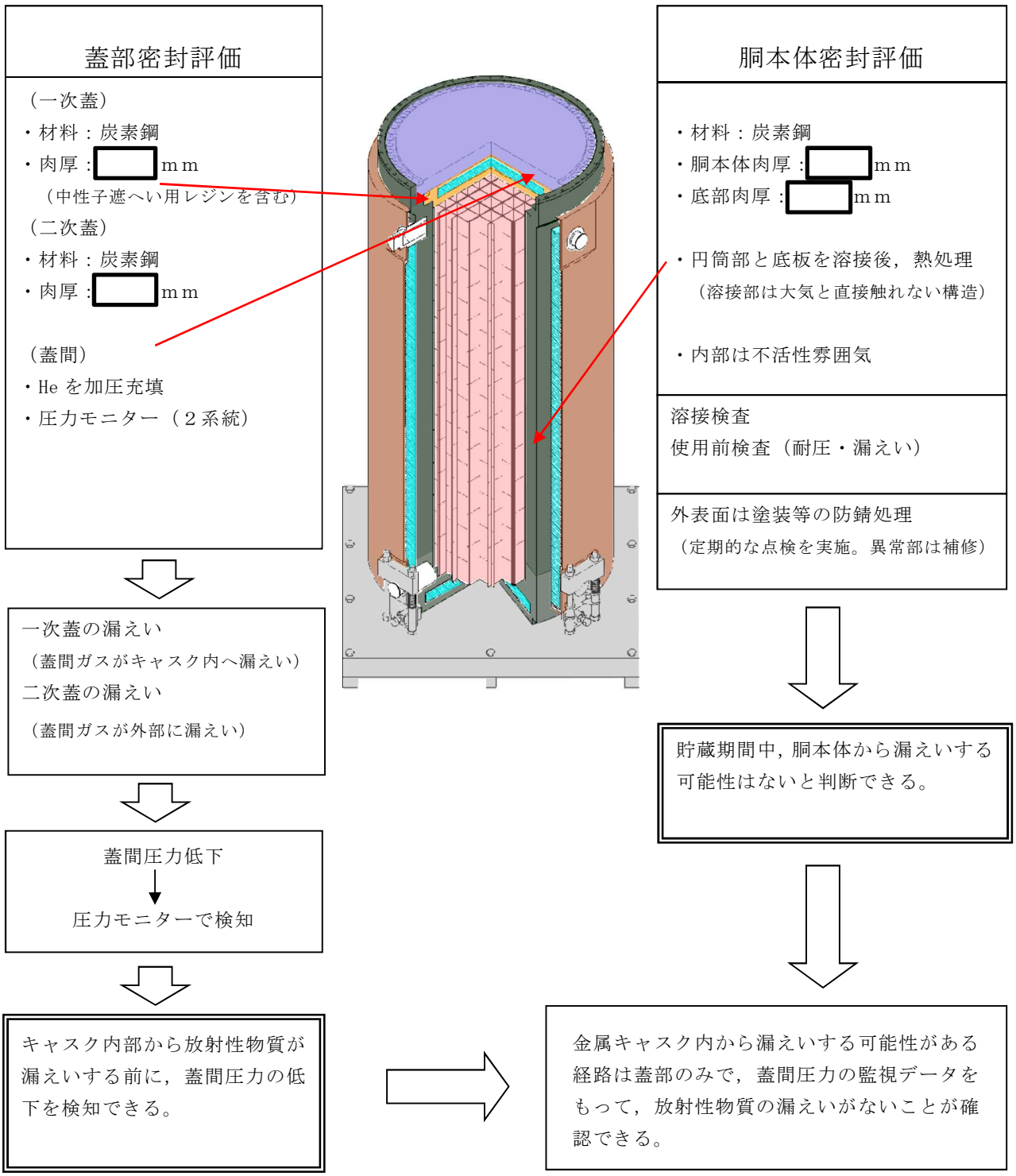
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

金属キャスクの密封性能維持について

金属キャスクは胴本体に一次蓋及び二次蓋が取り付いた状態で，内部は不活性雰囲気にし，外面は塗装等の防錆処理を行った上で貯蔵する。金属キャスクは使用材料が炭素鋼であり，充分な肉厚がある構造となっており，外気に晒される閉じ込め境界を形成する溶接部が存在せず，外面は定期的な点検を行うことから，貯蔵している金属キャスクから漏えいする可能性がある経路は蓋部の金属ガスケットのみである。あらかじめ，金属キャスク内部を負圧に維持するとともに，蓋間の圧力を正圧とし，蓋間圧力を監視することにより，放射性物質の漏えいがないことが確認できる。（添付４－１図参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



添付４－１図　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ）金属キャスクの密封性能維持

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付５

閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用

閉じ込め機能に係る設計方針，設計内容，管理・運用を整理し，添付５－１表に示す。

添付５－１表　設計及び管理・運用について

１．設計方針	２．具体的な設計内容	３．具体的な管理・運用方法
・使用済燃料貯蔵施設での放射線業務従事者に対し，放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう，使用済燃料集合体が内包する放射性物質を適切に閉じ込め。 ・バスケット及び使用済燃料集合体の健全性を維持するために，金属キャスクの内部の空間を不活性雰囲気に保持。	(1)蓋及び蓋貫通孔のシール部には長期間にわたって閉じ込め性能を維持する観点から耐熱性，耐腐食性を有し，耐久性の高い金属ガスケットを採用。 (2)金属キャスク本体を堅固な構造とし，蓋部は一次蓋，二次蓋の二重構造，金属キャスク内部を負圧に維持し，一次蓋と二次蓋との蓋間空間を正圧とすることにより圧力障壁を設ける。また，キャスク内部及び蓋間空間を不活性雰囲気に保持。	(1)(2)キャスクキャビティ内の不活性雰囲気の維持管理 ・金属ガスケットの仕様，長期密封性試験によるシール性能の確認 ・受入れ時に気密漏えい検査を実施 ・不活性雰囲気の維持管理
	(3)蓋間空間の圧力を監視することにより，閉じ込め機能低下を検出できる構造。	(3)蓋間圧力監視の管理・運用 ・使用済燃料集合体は収納条件を満たした燃料であること※1，国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと，キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり，輸送及び貯蔵期間中に

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

		外力により燃料が破損してキャスク内部の圧力が上昇することはないこと，また，キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないことを確認しており，漏えいが発生する可能性はないことから，キャスク内部の圧力が上昇する要因は，蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って，蓋間圧力を測定･監視することにより，間接的にキャスク内部の負圧維持を確認することが可能 ･蓋間圧力監視装置が点検中及び不具合時においても閉じ込め機能の異常を監視できるよう蓋間圧力監視装置を二系統並列に設定 ･万一の閉じ込め機能の異常を検知するため，適切に蓋間圧力の警報設定値を設定 ･蓋間圧力監視装置の定期的な点検（定期的な圧力センサーの校正）
	(4)万一の蓋部閉じ込め機能の異常に対して，三次蓋を追加装着できる構造。	(4)万一の蓋部閉じ込め機能の異常に対する処置 ・漏えい箇所の特定 ･三次蓋装着による施設外搬出または二次蓋金属ガスケット交換

※１：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて，原子炉等規制法第 59 条に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

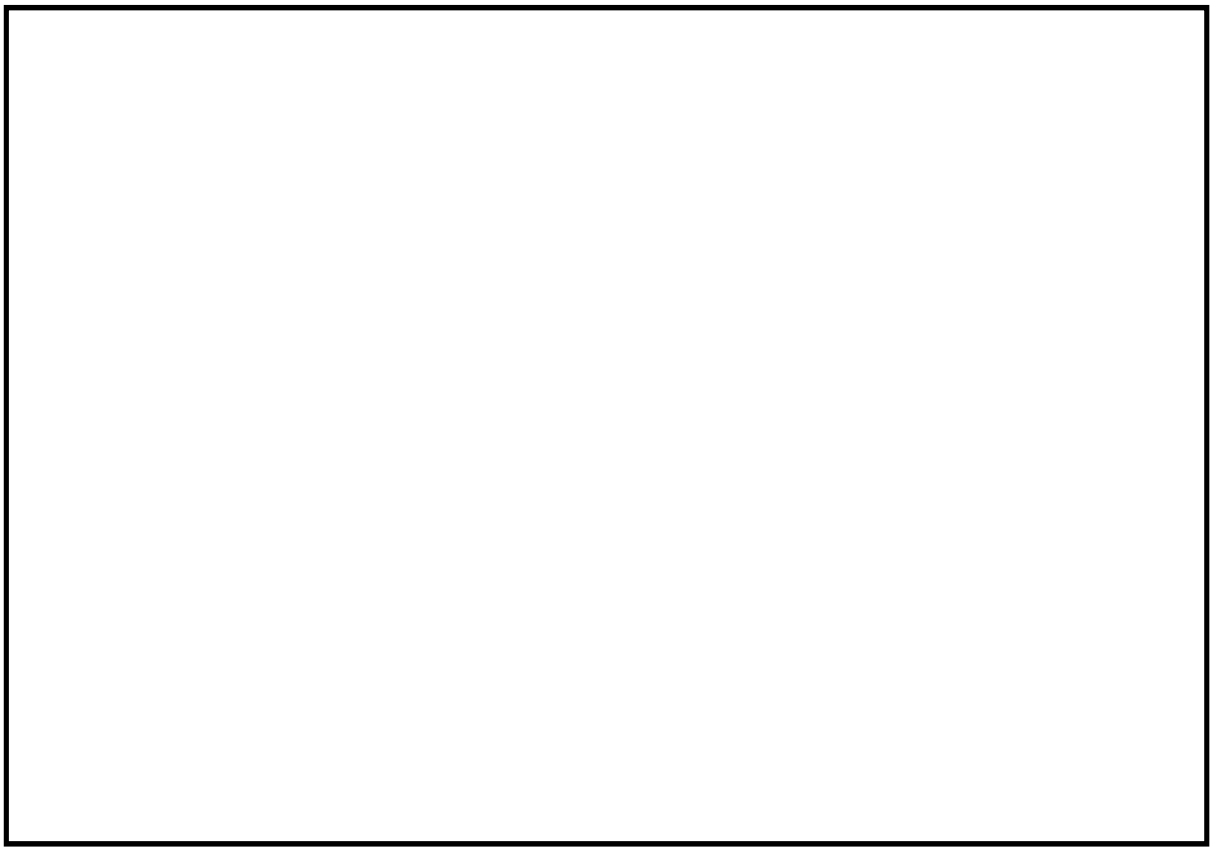
添付６

三次蓋の構造とシール方法について

三次蓋の具体的な設計及び構造としては，三次蓋はボルトで本体上部のフランジに取り付けられ，接合面には蓋側に0リングの溝が設けられており，0リングにより輸送物としての密封境界を形成する。三次蓋の構造の例を添付６－１図に示す。

三次蓋の密封性能は0リングの耐熱性能[1)]から，１年以上の維持は可能であり，搬出までの間仮置き可能である。

輸送時の密封境界（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））は収納物を収納する胴，底板及び三次蓋から構成される。この様態で輸送容器としての承認を得ることになる。



添付６－１図　三次蓋の構造（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

1)：電力中央研究所報告「U97101 輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価」（平成10年3月）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付７

三次蓋の取付け及び搬出手順について

1.　搬出方法の概要

使用済燃料貯蔵施設からの搬出方法の概要は以下のとおり。添付７－１図に搬出方法の概略図を示す。

(1)　輸送準備作業

1)　金属キャスクに三次蓋を取り付ける。

2)　搬送台車で検査架台から受入れ区域へ移動する。

3)　金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで，搬送台車からたて起こし架台へ移動する。

4)　受入れ区域天井クレーンで，金属キャスクに上･下部緩衝体を取り付ける。

(2)　輸送作業

1)　金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで，たて起こし架台から輸送車両へ積載する。

2)　発送前検査（外観，表面密度，線量当量率，収納物，温度測定，未臨界，気密漏えい等）で，核燃料輸送物設計承認書の記載を満足することを確認する。

3)　金属キャスクに近接防止金網を取り付ける。

(3)　船積み

1)　金属キャスクを輸送車両にて岸壁まで輸送する。

2)　近接防止金網を取り外す。

3)　岸壁クレーン及び水平吊具を用いて，金属キャスクを吊り上げ，専用運搬船の指定船倉内に積み込む。

4)　船内にて金属キャスクを固縛する。

5)　近接防止金網を取り付ける。

(4)　発電所への輸送

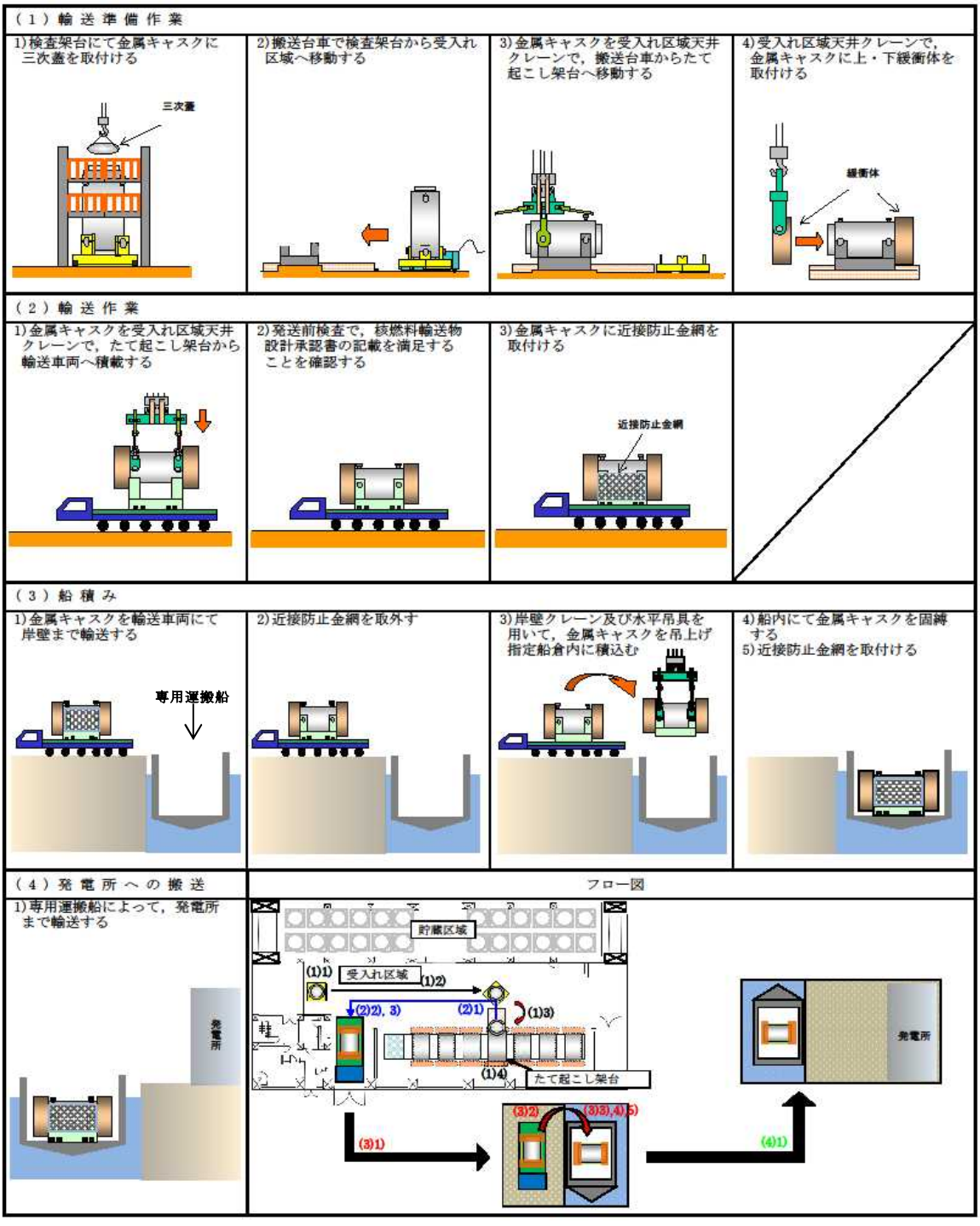
1)　専用運搬船によって，発電所まで輸送する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　搬出手続き

金属キャスクの搬出手続きには，原子炉設置者による専用運搬船の手配，官庁への申請手続きを行い，準備できしだい速やかに搬出する。また，受入れ先は，現時点では，搬出元の原子炉設置者であるが契約先と協議することになる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付７－１図　使用済燃料貯蔵施設からの搬出方法の概略

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

基準漏えい率の評価方法とその結果

1. 評価方法

金属キャスクの基準漏えい率計算フローを別添２－１図に示す。ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ）の評価条件を別添２－１表に示す。（添付１参照）

① 金属キャスクの閉じ込め境界の漏えい率 Q_0 を設定する。この漏えい率は，使用済燃料集合体の貯蔵開始時のシール部圧力，温度条件での金属キャスクの閉じ込め境界（一次蓋）全箇所からの漏えい率の合計値として設定する。

② 金属キャスク内部圧力の変化は，ボイル・シャルルの法則に基づき，以下のように求める。

$$\frac{dPd}{dt} = \frac{Q}{Vd} \cdot \frac{Td}{T} \qquad ②－1$$

ここで，

dPd ：金属キャスク内部圧力の変化 （Pa）

Td ：金属キャスク内部代表温度 （K）

Q ：金属キャスク内部圧力 Pd のときのシール部の漏えい率（Pa・m^3/s）

T ：シール部の代表温度 （K）

Vd ：金属キャスク内空間容積 （m^3）

t ：時間 （s）

また，ここで漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式で求められる。

$$\left.\begin{aligned} Q &= L \cdot Pa \\ L &= (Fe + Fm) \cdot (Pu - Pd) \\ Fe &= \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^{\,4}}{a \cdot \mu} \\ Fm &= \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^{\,3}\sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot Pa} \end{aligned}\right\} \qquad ②－2$$

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

ここで，

Q　：漏えい率　(Pa・m^3/s)

L　：圧力 Pa における体積漏えい率　(m^3/s)

Fe　：連続流の流動伝導係数　(m^3/（Pa・s））

Fm　：自由分子流の流動伝導係数　(m^3/（Pa・s））

Pu　：上流側の圧力　(Pa)

Pd　：下流側の圧力　(Pa)

D_0　：漏えい孔長(m)（②－2 式で，初期内部圧力 Pd_0，初期漏えい率 Q_0 として求める。）

a　：漏えい孔長(m)

Pa　：流れの平均圧力　(Pa)，Pa=(Pu+Pd)/2

μ　：ガスの粘性係数　(Pa・s)

T　：ガスの温度　(K)

M　：ガスの分子量　(kg/mol)

R_0　：ガス定数　(8.314472J/(mol K))

このクヌッセンの式は，次のようにして用いる。

金属キャスクの初期内部圧力が Pd_0，蓋間圧力が Pu_0，シール部の代表温度が T_0 のときの初期漏えい率が Q_0 であるとし，クヌッセンの式にこれらの値を代入して相当漏えい孔径 D_0 を求める。同じシールにおいて内部圧力が Pd_1，蓋間圧力が Pu_1，シール部の代表温度が T_1 に変化したときの漏えい率 Q_1 は，相当漏えい孔径 D_0 が変化しないものとして，クヌッセンの式にこれら圧力，温度を代入して求めることができる。

③　金属キャスク初期内部圧力 Pd_0，蓋間圧力一定として，②－1 の式を時間 t で積分することにより，ある時間 t における金属キャスク内部圧力 Pd を求める。

④　③により求めた設計評価期間経過後の金属キャスク内部圧力 Pdf が正圧の場合はより小さな漏えい率 Q_0 を，負圧の場合はより大きい漏えい率 Q_0 を設定して，①～③を繰り返す。設計評価期間経過後の金属キャスク内部圧力が使用済燃料の破損（0.1%）（添付２，添付３

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参照）によるガス放出に伴う圧力上昇分を考慮し，大気圧となる相当漏えい孔径 D_0を求める。なお，大気圧は標準大気圧（101325Pa（0.101MPa））から気象変化による圧力変動を考慮した値 9.7×10^4Pa abs を用いる。

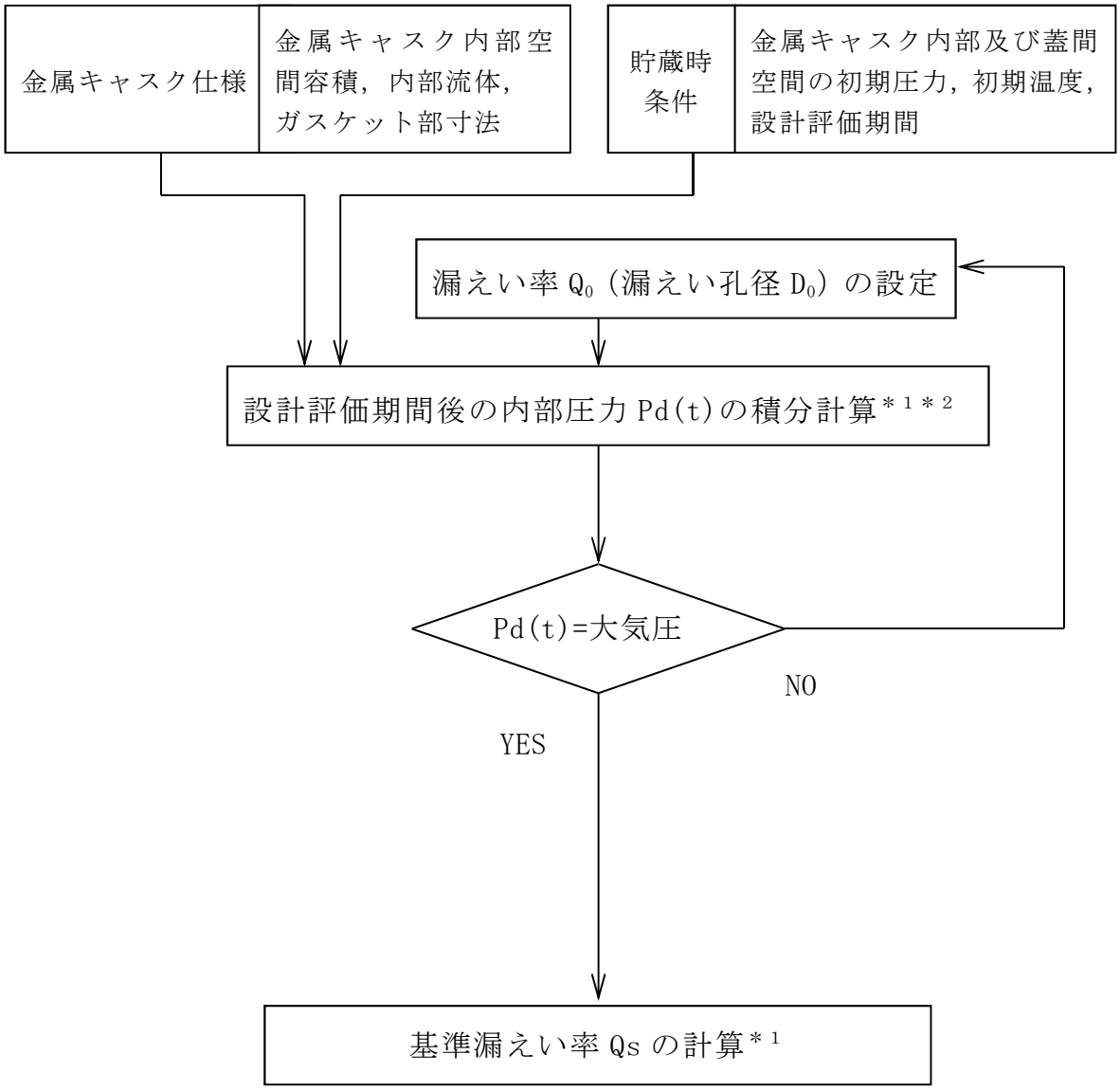
⑤ D_0より②－2 式を用いて，基準漏えい率 Qs を求める。基準漏えい率は，標準状態における漏えい率に換算する。

⑥ リークテスト判定基準としては，設計評価期間経過後にさらに蓋間空間ガスの流入を仮定しても金属キャスク内部圧力が負圧に維持できるように設定する。

2. 評価結果

「1. 評価方法」に基づき評価した結果，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）とも別添２－２表の通り基準漏えい率は 2.4×10^{-6}Pa･m^3/s，リークテスト判定基準は 1.6×10^{-6}Pa･m^3/s となる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



＊１：クヌッセンの式に基づく計算

＊２：ボイル・シャルルの法則に基づく計算

別添２－１図　基準漏えい率計算フロー

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別添２－１表　閉じ込め評価条件

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

項　目		評価条件
圧力	金属キャスク内部（初期） 蓋間空間（初期） 大気圧	8.0×10^{4} Pa abs 4.1×10^{5} Pa abs 9.7×10^{4} Pa abs (注 1)
空間容積	金属キャスク内部 (注 2) 蓋間空間	約 [　　] m^3 約 [　　] m^3
温度	金属キャスク内部 (注 3) 漏えい気体 (注 4)	259 ℃ -22.4 ℃
内部気体		ヘリウム
設計評価期間		60 年

（注１）封入された使用済燃料の破損（0.1%）によるガス放出に伴う圧力上昇分を別途考慮する。

（注２）金属キャスク内部の全空間容積から使用済燃料集合体及びバスケットの体積を除いた空間容積を示す。

（注３）使用済燃料集合体最高温度を保守的に設定した値を示す。

（注４）金属キャスク周囲最低温度を示す。

別添２－２表　閉じ込め評価結果

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ））

項　目	基準漏えい率 (Pa・m^3/s)	リークテスト判定基準 (Pa・m^3/s)
漏えい率	2.4×10^{-6}	1.6×10^{-6}

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

基準漏えい率の評価の詳細

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価の詳細を以下に示す。

金属キャスクの閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は，設計評価期間中に金属キャスク内部の負圧が維持できる漏えい率として定義される。したがって，設計評価期間後に金属キャスク内部圧力が大気圧となるシール部の漏えい率が基準漏えい率である。

漏えい率は，日本原子力学会標準[1)]に基づき，以下の①，②式から求めている。時間dtの間に金属キャスク内部の圧力がdPdだけ変化する漏えい率をQとすれば，金属キャスク内空間容積は一定であることから，金属キャスク内部圧力の時間変化は，温度の違いを考慮してボイル・シャルルの法則により次式で与えられる。

$$\frac{dPd}{dt} = \frac{Q}{Vd} \cdot \frac{Td}{T} \qquad ①$$

ここで，

dPd：金属キャスク内部圧力の変化（Pa）
Td　：金属キャスク内部代表温度（K）
Q　：金属キャスク内部圧力Pdのときのシール部の漏えい率（$Pa \cdot m^3/s$）
T　：シール部の代表温度（K）
Vd　：金属キャスク内空間容積（m^3）
t　：時間（s）

また，漏えい率Qは以下のクヌッセンの式で求められる。

$$\left.\begin{aligned} Q &= L \cdot Pa \\ L &= (Fe + Fm) \cdot (Pu - Pd) \\ Fe &= \frac{\pi}{128} \times \frac{{D_0}^4}{a \cdot \mu} \\ Fm &= \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{{D_0}^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot Pa} \end{aligned}\right\} \qquad ②$$

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

ここで,

Q　：漏えい率（Pa･m^3/s）

L　：圧力Paにおける体積漏えい率（m^3/s）

Fe　：連続流の流動伝導係数（m^3/(Pa･s)）

Fm　：自由分子流の流動伝導係数（m^3/(Pa･s)）

Pu　：上流側の圧力（Pa）

Pd　：下流側の圧力（Pa）

D_0　：漏えい孔径（m）

a　：漏えい孔長（m）

Pa　：流れの平均圧力（Pa），Pa =(Pu+Pd)／2

μ　：ガスの粘性係数（Pa・s）

T　：ガスの温度（K）

M　：ガスの分子量（kg/mol）

R_0　：ガス定数（J/(mol･K)）

②式を①式に代入すると

$$\frac{dPd}{dt}=\frac{Td}{Vd\cdot T}\times\left\{\ \frac{1}{2}Fe\cdot(Pu^2-Pd^2)+Fm\cdot Pa\cdot(Pu-Pd)\ \right\} \qquad ③$$

蓋間圧力（上流側の圧力）Pu（Pa）を一定として，③式を時間tで積分すれば，ある時間tにおける金属キャスク内部圧力Pd = Pd(t)が得られる。つまり，

$$Pd(t)=\frac{Pu\cdot\left\{Fe'\cdot(Pu+Pd_0)+Fm'\right\}-(Fe'\cdot Pu+Fm')\cdot(Pu-Pd_0)\cdot\exp\left\{-\dfrac{Td\cdot(2Fe'\cdot Pu+Fm')}{Vd\cdot T}\cdot t\right\}}{Fe'\cdot(Pu+Pd_0)+Fm'+Fe'\cdot(Pu-Pd_0)\cdot\exp\left\{-\dfrac{Td\cdot(2Fe'\cdot Pu+Fm')}{Vd\cdot T}\cdot t\right\}} \qquad ④$$

ここで,

$$Fe'=\frac{1}{2}Fe=\frac{1}{2}\times\frac{\pi}{128}\times\frac{D_0^{\,4}}{a\cdot\mu}$$

$$Fm'=Fm\cdot Pa=\frac{\sqrt{2\pi\cdot R_0}}{6}\times\frac{D_0^{\,3}\sqrt{\dfrac{T}{M}}}{a\cdot Pa}\times Pa=\frac{\sqrt{2\pi\cdot R_0}}{6}\times\frac{D_0^{\,3}\sqrt{\dfrac{T}{M}}}{a}$$

である。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

④式に，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２），（タイプ２Ａ）について

Td　：キャスク内部代表温度（K）（532.15K（259℃）：評価値（内部気体最高温度））

T　：シール部の代表温度（K）（250.75K(-22.4℃）：設計値（最低気温））

Vd　：金属キャスク内空間容積（m^3）（　　m^3：設計値）

Pu　：上流側（蓋間）の圧力（Pa）（4.1×10^5Pa：設計値（初期圧力一定））

Pd_0　：下流側（金属キャスク内部）の圧力の初期圧力（Pa）（8.0×10^4Pa：設計値）

a　：漏えい孔長（m）（　　m：設計値（金属ガスケット断面径10mm））

μ　：Heの粘性係数（Pa・s）（1.77×10^{-5} Pa・s：文献値[2]（-22.4℃の値））

M　：Heの分子量（kg/mol）（4.002602×10^{-3}kg/mol：文献値[3]）

R_0　：ガス定数（J/(mol･K)）（8.314472J/(mol･K)：文献値[3]）

t　：設計評価期間（60年＝60×365.25×24×60×60 sec＝1.893456×10^9 sec）

を代入して，金属キャスク内部圧力Pdが0.1%の燃料破損[1]によるガス放出を想定した圧力上昇を考慮しても負圧を維持できる圧力となる漏えい孔径を繰り返し計算により求める。

ここで，0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇ΔＰは，次のとおり求められる。

$$\Delta P = P_{He} + P_{FP}$$

ここで，

P_{He}：初期封入ガス分圧（Pa）

P_{FP}：FPガス分圧（Pa）

金属キャスク内空間の初期封入ガス分圧P_{He}，FPガス分圧P_{FP}は次のとおり求められる。

$$P_{He} = P_0 \times \frac{V_P}{V_d + V_P} \times \frac{T_d}{T_0}$$

$$P_{FP} = \frac{m \times R_0 \times T_d}{V_d}$$

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

ここで，

新型８×８燃料，新型８×８ジルコニウムライナ燃料を例にすると，

P_0　：燃料棒初期内圧（Pa）（□Pa：設計値）

V_P　：放出ガス体積（m^3）

$$V_P = V_{P0} \times n \times N \times \alpha$$

V_{P0}　：燃料棒プレナム体積（m^3/本）（□ m^3/本：設計値）

n　：燃料棒本数（本）（62本：設計値）

N　：収納体数（体）（69体：設計値）

α　：燃料棒破損率（－）（0.001：原子力学会標準[1)]）

V_d　：金属キャスク内空間容積（m^3）（□：設計値））

T_d　：キャスク内部代表温度（K）（532.15 K（259℃）：評価値（内部気体最高温度））

T_0　：燃料棒初期封入時温度（K）（□ K（□℃）：設計値）

m　：放出FPガス量（mol）

$$m = M_g \times N \times \alpha \times \beta$$

M_g　：ガス生成量（mol/体）（□mol/体：燃焼計算コードORIGEN2による評価値）

β　：ガス放出率（－）（0.3：原子力学会標準[4)]）

R_0　：ガス定数（J/(mol・K)）（8.314472J/(mol･K)：文献値[3)]）

0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇は約0.2 kPa（□Paを丸め）となる。同様に，高燃焼度８×８燃料で0.1％の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を求めると約□ kPa（□ Paを丸め）となる。

漏えい孔径を繰り返し計算により求めると，漏えい孔径D_0は以下のとおりとなる。

Pd(t=60年)＝9.7×10^4 －□$\times10^3$ Pa＝□$\times10^4$ Paのとき，D_0＝□m

また，リークテスト判定基準としては，0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇及び設計評価期間経過後にさらに蓋間空間ガスの金属キャスク内部への流入を仮定した圧力上昇を考慮した許容圧力（□MPa）においても負圧を維持できる値とする。基準漏えい率と同様に計算すると，以下のようになる。

Pd(t=60年)＝□Paのとき，漏えい孔径：D_0＝□m

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

次に,標準大気圧における基準漏えい率とリークテスト判定基準を算出する。標準状態の算出条件を添付１－１表に示す。

添付１－１表　標準状態の算出条件

項　　目	評　価　条　件	備　　考
圧　　力	上流側圧力　　：　0.101 MPa 下流側圧力　　：　0 MPa [abs]	大気圧
温　　度	25℃	
内 部 気 体	ヘリウム 分子量：　4.002602×10^{-3} kg/mol 粘性係数：　1.98×10^{-5} Pa･s（25℃）	

基準漏えい率Qsは，先に得られた漏えい孔径D_0＝[　　]mの漏えい孔に対して，添付１－１表の条件をクヌッセンの式（②式）に代入することで求められる。

$Qs = 2.4\times10^{-6}$ (Pa･m^3/s)

また，リークテスト判定基準Qtも同様に，漏えい孔径D_0＝[　　]mの漏えい孔に対して，添付１－１表の条件をクヌッセンの式（②式）に代入することで求められる。

$Qt = 1.6\times10^{-6}$ (Pa･m^3/s)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考文献

1) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010」(AESJ-SC-F002:2010), (一社)日本原子力学会, (2010 年 7 月)

2) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料　改訂第 4 版」, (一社)日本機械学会

3) 「国立天文台編 理科年表 平成 19 年」, 丸善(株), (2006)

4) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準 : 2013」(AESJ-SC-F006 : 2013), (一社)日本原子力学会, (2014 年 11 月)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付２

使用済燃料の破損の仮定について

閉じ込め性能評価での基準漏えい率の算出に当たっては，日本原子力学会標準[1)]に基づき使用済燃料破損率0.1％を用いている。使用済燃料破損率0.1％は，米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料の発生率（約0.01％）と日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（約0.01％以下）を考慮し保守的な値として定めたものである。

① 米国の漏えい燃料発生率(約0.01%)について[1)]

米国にて実施された使用済燃料の長期貯蔵時の健全性試験の結果，通常燃料を貯蔵した場合に２本の燃料棒に漏えいが生じていたとPNNL-11576[2)]により報告されている。試験対象の燃料棒は約16700本であることから，燃料の破損率を約0.01％としている。

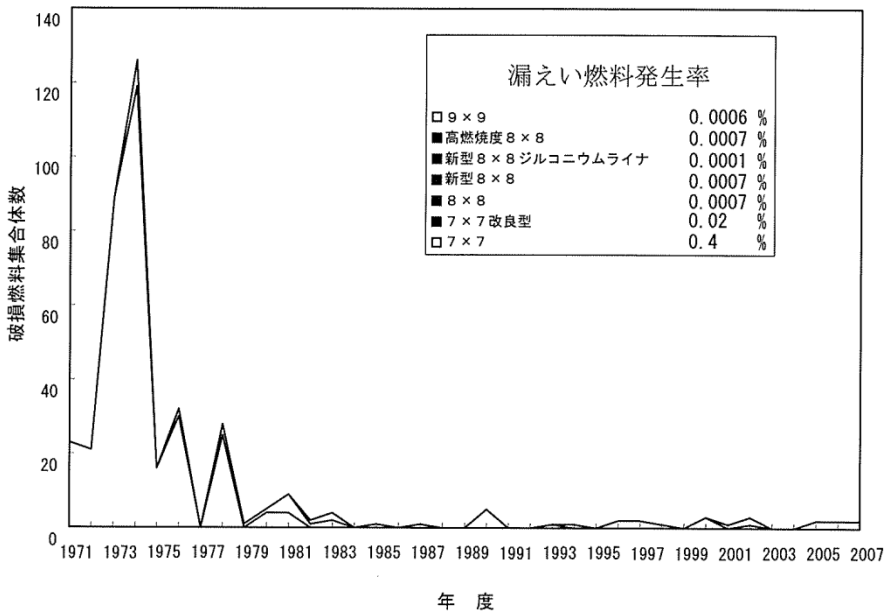
②　日本の軽水炉における漏えい燃料発生率(0.01％以下)について[1)]

日本においては，発電所内の貯蔵容器の抜取調査では，燃料の漏えいは認められていないが,運転中の漏えい燃料発生確率は,ＢＷＲ燃料で約0.01%(添付２－１図参照：東京電力株式会社の集計データ),ＰＷＲ燃料で約0.002％(添付２－２図参照：関西電力株式会社の集計データ)である。

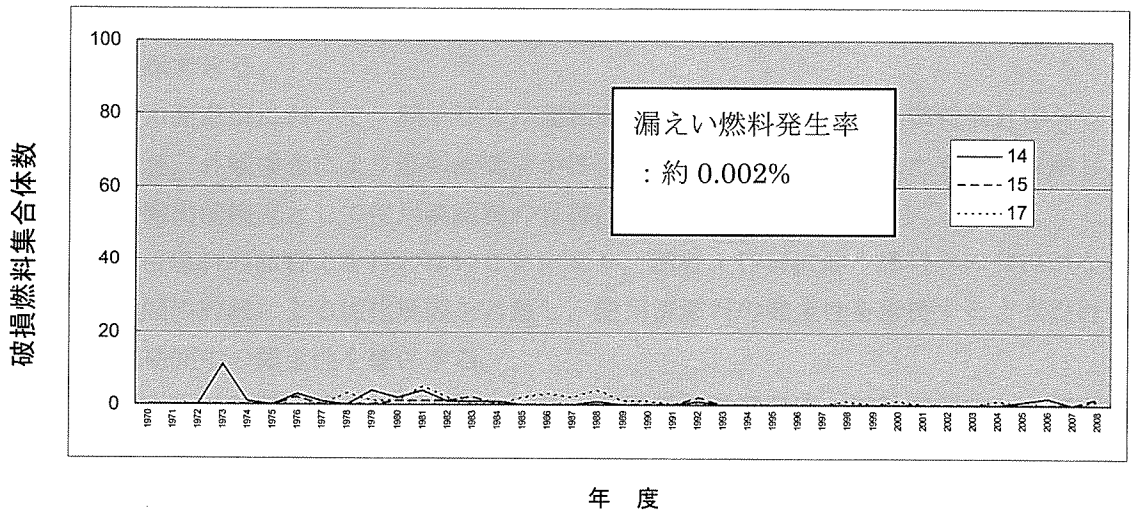
米国の基準では，NRC発行のInterim Staff Guidance (ISG)-1[3)]「機能に基づく中間貯蔵及び輸送における使用済燃料の状態分類」に規定されているとおり，ピンホールやヘアクラックのある漏えい燃料であっても非損傷燃料として扱っており，このような使用済燃料についてあらかじめ収納されることを考慮している（添付２－３図参照)。

一方，我が国においては，金属キャスクで貯蔵する使用済燃料集合体は健全性を確保した使用済燃料集合体であり,金属キャスクに収納する時点において,健全であることを，運転中のデータ，シッピング検査等により確認することとしており，漏えい燃料は収納されることはない。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

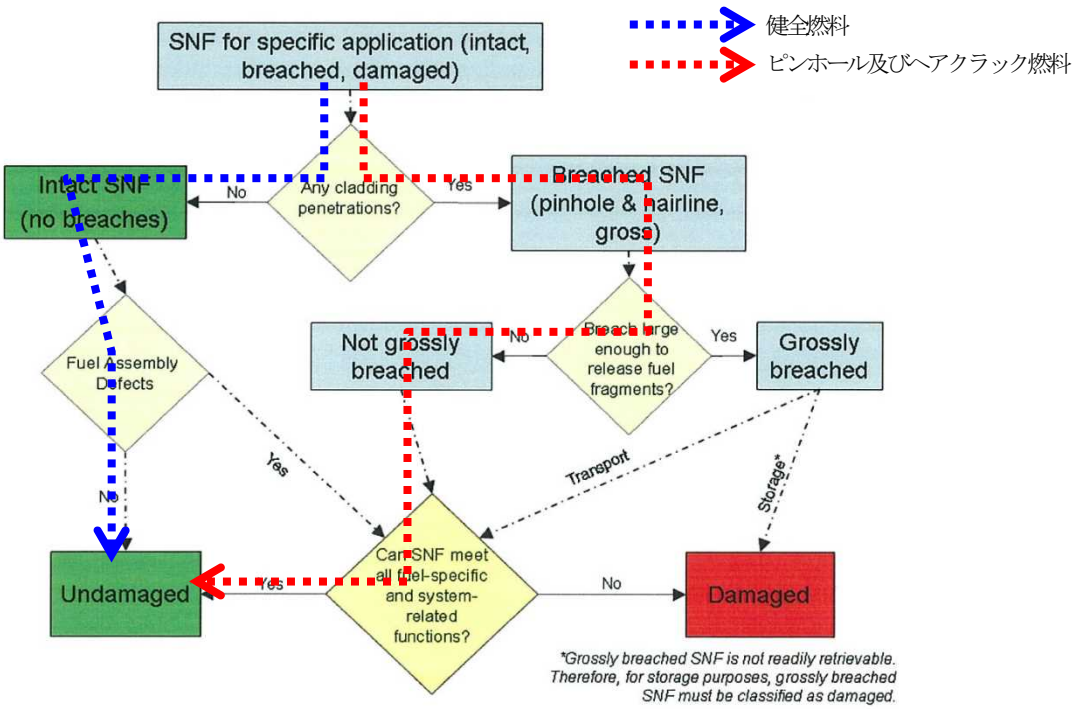


添付２－１図 国内のＢＷＲ燃料の破損実績[1)]



添付２－２図 国内のＰＷＲ燃料の破損実績[1)]

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付２－３図　米国における使用済燃料の状態分類 [3)]

参考文献

1) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準　使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010」(AESJ-SC-F002：2010), (一社)日本原子力学会, (2010 年 7 月)

2) M.A. McKinnon, A.L. Doherty, “Spent Nuclear Fuel Integrity During Dry Storage - Performance Tests and Demonstrations”, PNNL-11576, June 1997

3) Interim Staff Guidance(ISG)-1, “Classifying the Condition of Spent Nuclear Fuel for Interim Storage and Transportation Based on Function”

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付３

貯蔵中の使用済燃料被覆管の応力評価

基準地震動に対し，貯蔵中の使用済燃料集合体の形状及び閉じ込め機能の維持については，Ｓｓ地震力が作用する場合の使用済燃料の被覆管に生じる応力を評価し確認する。

以下に当該評価結果を示す。同評価結果より，使用済燃料集合体の閉じ込め機能は維持される。

１．応力計算

Ｓｓ地震力が作用する場合に生じる応力は，鉛直方向荷重による圧縮応力σ_c（MPa），水平方向荷重による曲げ応力σ_b（MPa）及び内圧による各方向応力 σ_z，σ_r，σ_θ（MPa）である。Ｓｓ地震力が作用する場合において最大応力強さＳ（MPa）は，内面に生じるので内面のみ評価する。

(1)　鉛直方向荷重により生じる圧縮応力

鉛直方向荷重により生じる圧縮応力は，次式で与えられる。

$$\sigma_c=-\frac{W\cdot G_2}{A} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.1)$$

ここで，

Ｗ　：燃料被覆管最下端で負担する質量（＝ □ kg）

G_2：鉛直方向加速度（m/s^2）

$G_2=(1+C_V)\cdot G$

C_V：鉛直方向設計震度（＝0.87）

Ｇ　：重力加速度（＝9.80665 m/s^2）

Ａ　：燃料被覆管の断面積（mm^2）

$$A=\frac{\pi}{4}\cdot\left(d_o^{\,2}-d_i^{\,2}\right)$$

d_o：燃料被覆管の外径（mm）

d_i：燃料被覆管の内径（mm）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　水平方向荷重により生じる曲げ応力

燃料被覆管は支持格子により支持される連続梁とみなすことができ,1つの支持スパン内の部分を考えると両端固定梁となる。したがって，水平方向荷重により生じる最大曲げ応力は，次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot d_o}{2 \cdot I} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.2)$$

$$M = \frac{1}{12} \cdot (W_f + W_c) \cdot G_1 \cdot \ell^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.3)$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4)$$

ここで,

M　：曲げモーメント（N・mm）

G_1：水平方向加速度（m/s^2）

$G_1 = C_H \cdot G$

C_H　：水平方向設計震度（＝1.40）

G　　：重力加速度（＝9.80665 m/s^2）

I　：断面二次モーメント（mm^4）

W_f：ペレット単位長さ当たりの質量（kg/mm）

W_c：燃料被覆管単位長さ当たりの質量（kg/mm）

ℓ：支持スパン（mm）

d_o：燃料被覆管外径（mm）

d_i：燃料被覆管内径（mm）

(3)　内圧による各方向応力

内圧P_oにより生じる各方向応力は，以下の式で与えられる。

$$\sigma_Z = \frac{P_o}{(K^2 - 1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.5)$$

$$\sigma_r = \frac{-(K^2/R^2 - 1) \cdot P_o}{(K^2 - 1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.6)$$

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

$$\sigma_{\theta}=\frac{\left(K^2/R^2+1\right)\cdot P_o}{\left(K^2-1\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.7)$$

ここで,

σ_z：軸方向応力（MPa）

σ_r：半径方向応力（MPa）

σ_{θ}：周方向応力（MPa）

P_o：内圧（MPa abs）

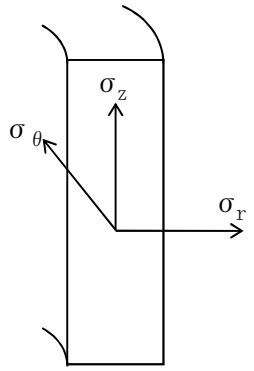
$K = b / a$

b　：燃料被覆管外半径$=\frac{d_o}{2}$（mm）

a　：燃料被覆管内半径$=\frac{d_i}{2}$（mm）

$R = r / a$（内面においてはR＝1）

r　：評価位置（$a \leqq r \leqq b$）



(4)　応力強さ

鉛直方向荷重により生じる圧縮応力，水平方向荷重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる各方向応力から求まる応力強さは，以下の式で与えられる。

$$S=\mathrm{Max}\{|\sigma_{rL}-\sigma_{\theta L}|,|\sigma_{\theta L}-\sigma_{zL}|,|\sigma_{zL}-\sigma_{rL}|\}\cdots\cdots(1.8)$$

ここで,

$\sigma_{rL}=\sigma_r$

$\sigma_{\theta L}=\sigma_{\theta}$

$\sigma_{zL}=\sigma_c-\sigma_b+\sigma_z$

評価条件を添付３－１表に，前述の諸式を用いて計算した結果を添付３－２表に示す。燃料被覆管に発生する応力は降伏応力以下である。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付３－１表　Ｓｓ地震力が作用する場合の燃料被覆管の応力評価条件

項目	値
ペレット単位長さ当たりの質量：W_f (kg/mm)	[redacted]
燃料被覆管単位長さ当たりの質量：W_c (kg/mm)	[redacted]
支持スパン：ℓ (mm)	[redacted]
燃料被覆管外径：d_o (mm)	12.3
燃料被覆管内径：d_i (mm)	[redacted]
内圧：P_o (MPa abs)	[redacted]

添付３－２表　Ｓｓ地震力が作用する場合の燃料被覆管の応力評価結果

(単位：MPa)

部位	計算値	降伏応力※
燃料被覆管	70	313

※：燃料被覆管材料（ジルカロイ－２）の260℃における照射後の降伏応力568 MPa[1)]に燃料被覆管の照射硬化の回復を保守的に考慮した値

参考文献

1)　(独)原子力安全基盤機構，「平成18年度　高燃焼度９×９型燃料信頼性実証成果報告書（総合評価編)」，(独)原子力安全基盤機構

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

金属ガスケットの性能について

1. 漏えい率とラーソンミラーパラメータとの関係

(財)電力中央研究所で実施された金属ガスケットの長期密封性能試験の結果として，初期の密封性能が保持できる温度と時間が整理されている。漏えい率とラーソンミラーパラメータ(以下「LMP」という。)の関係は材料定数Ｃ＝20として別添３－１図の通りとなっている。金属キャスクの除熱評価における制限温度は130℃であり，初期温度を130℃として，崩壊熱の減衰を無視して，LMPが11×10^{3}となる時間を求めると約2000年となる。

2. 金属ガスケットの断面径，直径等の影響

（財）電力中央研究所での長期密封性能試験の金属ガスケット仕様及びリサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケット仕様の比較を別添３－１表に示す。併せて，参考として使用済燃料集合体の所内での乾式貯蔵の実績がある東京電力(株)福島第一原子力発電所，日本原子力発電(株)東海第二発電所で使用されている金属ガスケットの仕様も示す。

以下のとおり一部相違点はあるが，リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケットについては，金属キャスクの使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる閉じ込め性能を有する。

(1) 金属ガスケットのタイプと材質

リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属キャスクに適用される金属ガスケットのタイプと材質は，（財）電力中央研究所の長期密封性能試験[1),2),3)]の金属ガスケットと同じである。

(2) 断面径の違い

(財)電力中央研究所での長期密封性能試験[1),2)]によれば，断面径 5.5mm の金属ガスケットにおいて，初期の閉じ込め性能を保持できる限界の LMP は 11.0×10^{3} とされている。

また，（財）電力中央研究所での実規模のキャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験[3)]によれば，断面径 6.1mm の金属ガスケットにおいて，温

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

度が 130～140℃一定に保たれた状態で，約 18 年６ヶ月にわたって漏えい率がほとんど変化しないことが確認されている。(別添３－２図参照)

金属ガスケットによる気密性は，ボルトによる蓋とフランジの締付けで圧縮された金属ガスケットの外被がガスケット内部のコイルスプリングの反力によって蓋及び本体胴フランジに密着することで確保される。コイルスプリングは締め付けにより楕円変形する。したがって，断面径が大きいほどフランジへの外被の密着面積は広範囲に得られる。断面径の違いについては，原子力発電技術機構で行われた断面径 10 mm，3.3 mm，２mm の金属ガスケットの密封性能試験[4)]において，断面径が大きいものほど高い LMP 値まで漏れにくい傾向があることが報告されている。

また,原子力発電技術機構で行った断面径 10mm の金属ガスケットの密封性能試験[4)]では，LMP が 11.9×10^3 までにおいて，この間で漏えいの有意な増加がないことが確認されている。(別添３－３図参照)

リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケットの断面径は 5.6mm，10mm であり，(財) 電力中央研究所の試験と同等の閉じ込め性能を有する。

(3) 直径（フープ径）の違い

金属ガスケットの直径（フープ径）においては，ガスケットの周方向に同一の漏えい孔が等間隔に存在すると考えれば，漏えい率はガスケットの周長に比例する。

(財) 電力中央研究所の密封性能試験に関する論文[1)]には，フープ径を縮尺したガスケット試験の漏えい率及び実機模レベルのガスケットの漏えい率の比較から，漏えい率は周長比に比例するとの考えが示され，また，原子力発電技術機構の密封性能試験に関する報告書[5)]にも，漏えい率は，試験と実機との相関は周長比で補正する必要があることが示されている。

リサイクル備蓄センターで使用する金属ガスケットは漏えい率が周長に比例することを考慮しても，十分な閉じ込め性能を有する。なお，(財) 電力中央研究所の実規模キャスク蓋部モデル試験の漏えい率を周長比倍した結果を評価例に示す。

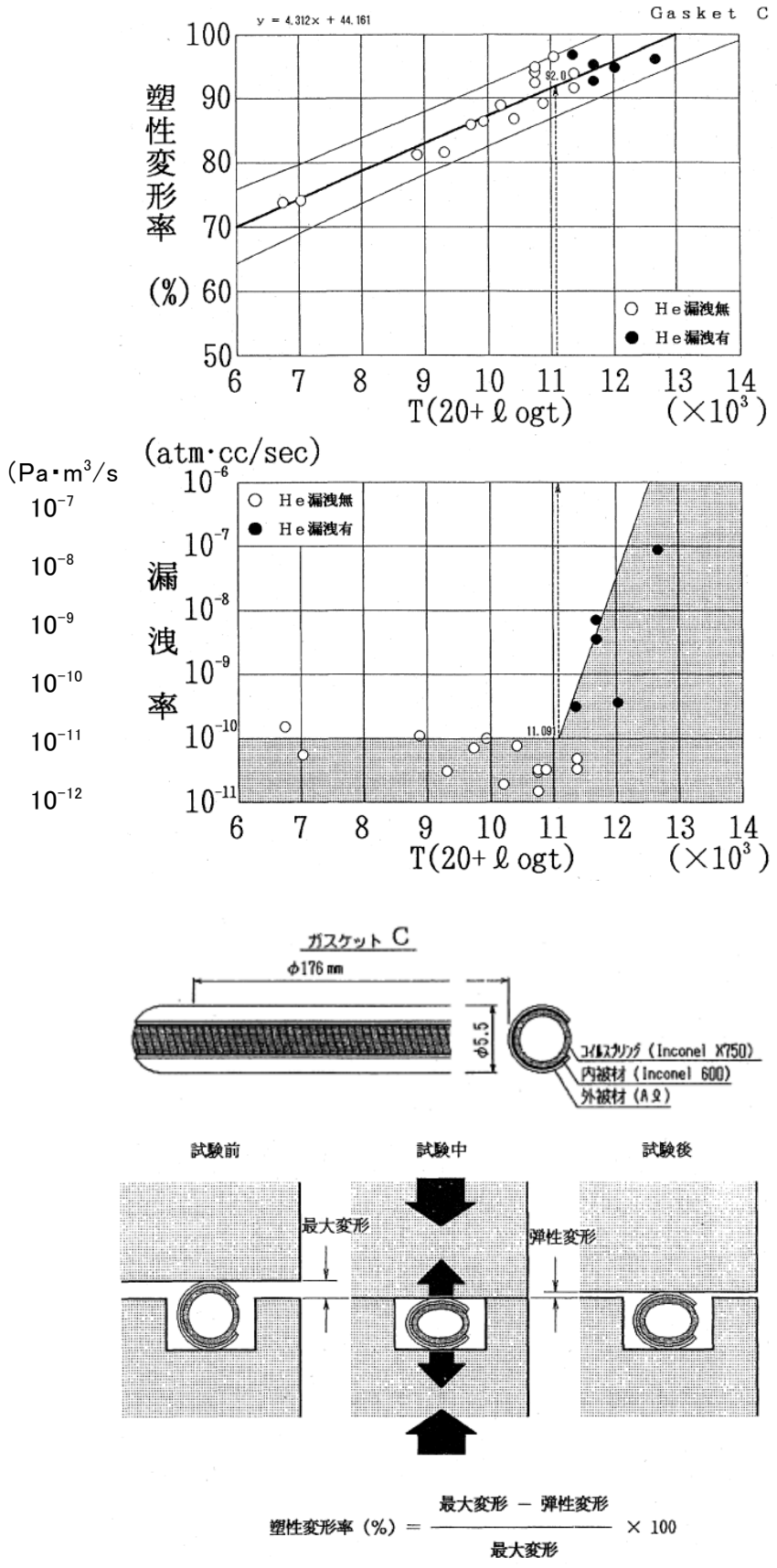
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

（評価例）周長比倍の漏えい率

（財）電力中央研究所の金属ガスケット［mm］	リサイクル燃料備蓄センターで使用予定の金属ガスケット［mm］	周長比[注1)]	最大漏えい率［Pa・m^3/s］	（参考）基準漏えい率［Pa・m^3/s］
Di 1767	Di 約1950	約110％	6.51×10^{-10}⇒約7.2×10^{-10}	2.4×10^{-6}

注１：リサイクル燃料備蓄センターで使用予定の金属ガスケットと（財）電力中央研究所の実規模キャスク蓋部モデル試験で使用の金属ガスケットの周長比

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添３－１図　金属ガスケット塑性変形率及び漏えい率と LMP の関係 [2)]

（φ5.5　Al 外被ガスケット）

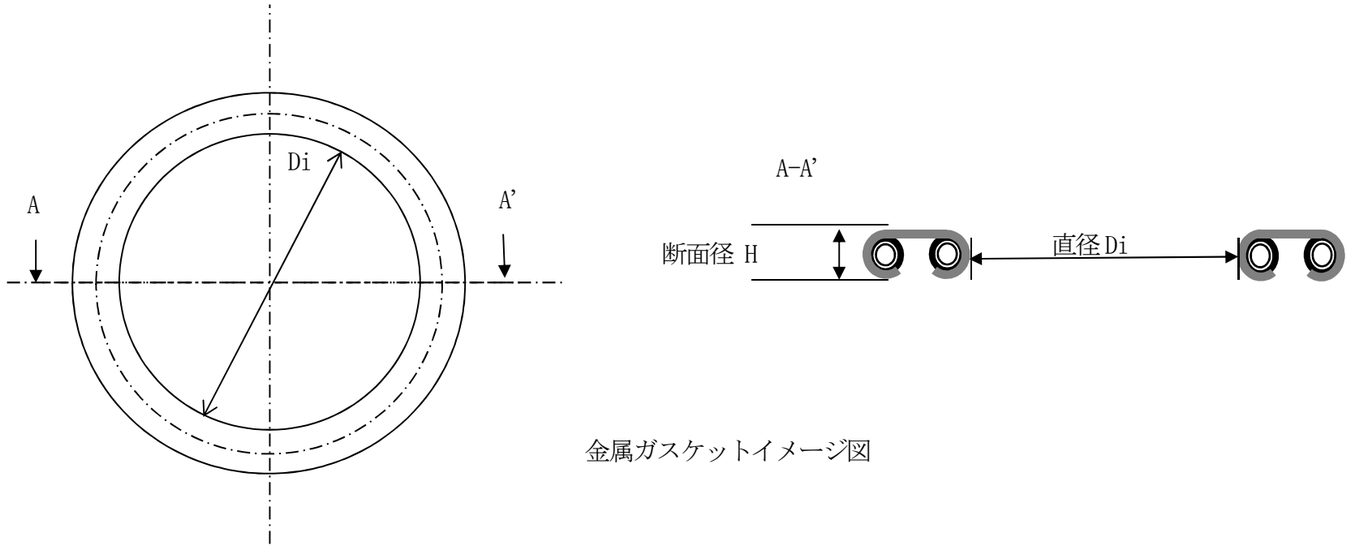
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３－１表　金属ガスケット仕様比較

項　　目		(財) 電力中央研究所の長期密封性能試験		リサイクル燃料備蓄センター	相違点に対する評価
		試験[1),2)]	実規模[3)]		
タイプ		二重被覆コイルスプリング型中空金属ガスケット		二重被覆コイルスプリング型中空金属ガスケット	相違なし
材　質		外　被：アルミニウム合金 内　被：ニッケル基合金 スプリング：ニッケル基合金		外　被：アルミニウム合金 内　被：ニッケル基合金 スプリング：ニッケル基合金	相違なし
断面径H［mm］	一次蓋	5.5 (部位の区分はない)	－	10	断面径が大きいほどフランジへの外被の密着面積は広範囲に得られる。断面径が大きいものほど高いLMP値まで漏れにくい傾向にある。また，原子力発電技術機構で行った断面径10㎜の金属ガスケットの密封性能試験では，LMPが11.9×10^3までにおいて，漏えいの有意な増加がないことが確認されている[4)]。
	二次蓋		6.1	10	
	バルブカバー		－	5.6	
直　径Di［mm］	一次蓋	176 (単線径) (部位の区分はない)	－	～　1700程度	漏えい率を周長比倍しても貯蔵中に要求される閉じ込め性能を充分満足できるレベルである。
	二次蓋		1767	～　1950程度	
	バルブカバー		－	～　100程度	

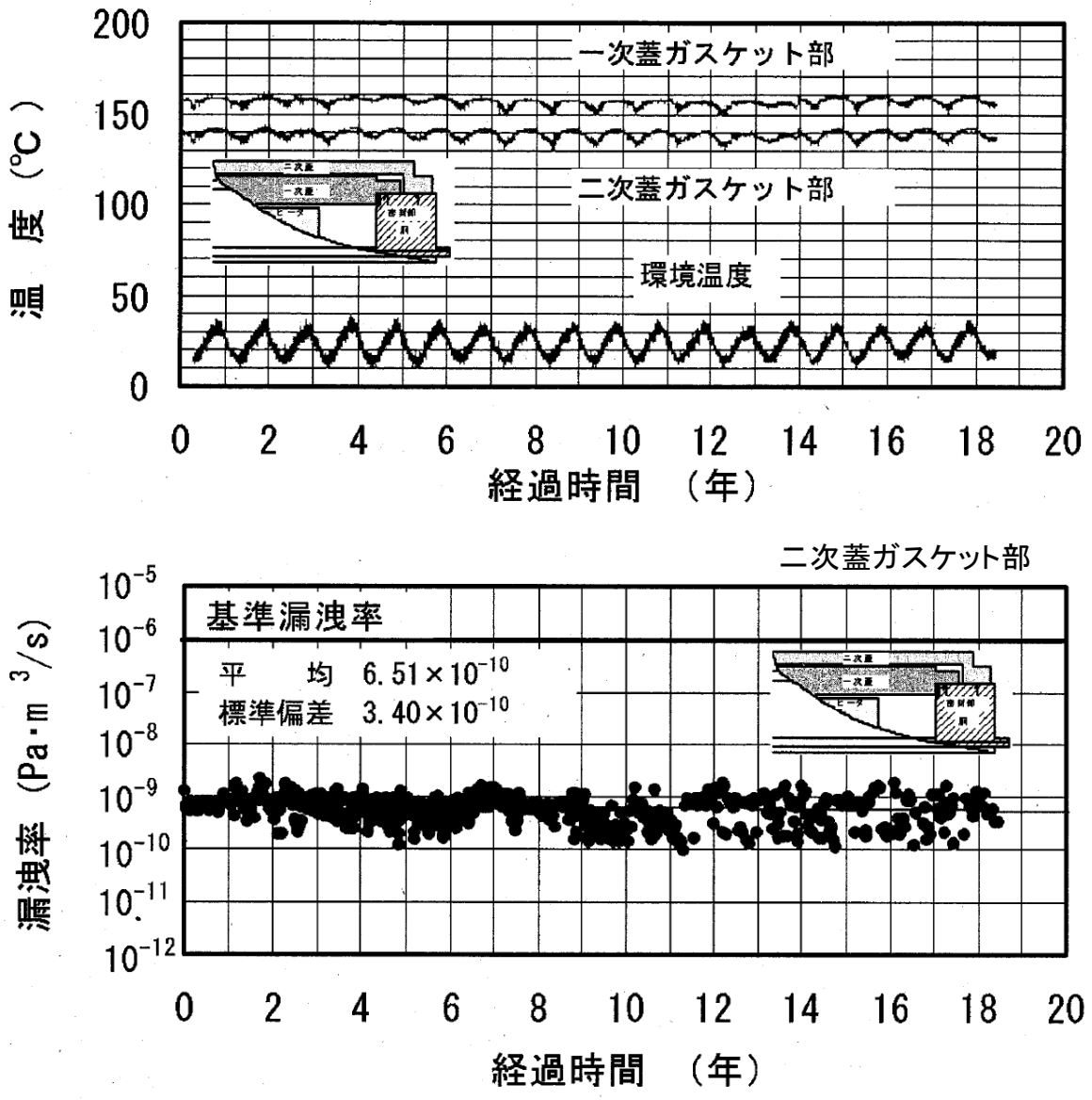
(参考)

項　　目		東京電力(株)福島第一原子力発電所		日本原子力発電(株)東海第二発電所
		乾式貯蔵キャスク(大型)	乾式貯蔵キャスク(中型)	
タイプ		二重被覆コイルスプリング型中空金属ガスケット		二重被覆コイルスプリング型中空金属ガスケット
材　質		外　被：アルミニウム合金 内　被：ニッケル基合金 スプリング：ニッケル基合金		外　被：アルミニウム合金 内　被：ニッケル基合金 スプリング：ニッケル基合金
断面径H［mm］	一次蓋	6.1		6.1
	二次蓋	6.1		6.1
	バルブカバー等	4.0		4.0
直　径Di［mm］	一次蓋	1497	1277	1600
	二次蓋	1947	1727	1840
	バルブカバー等	82	82	93



金属ガスケットイメージ図

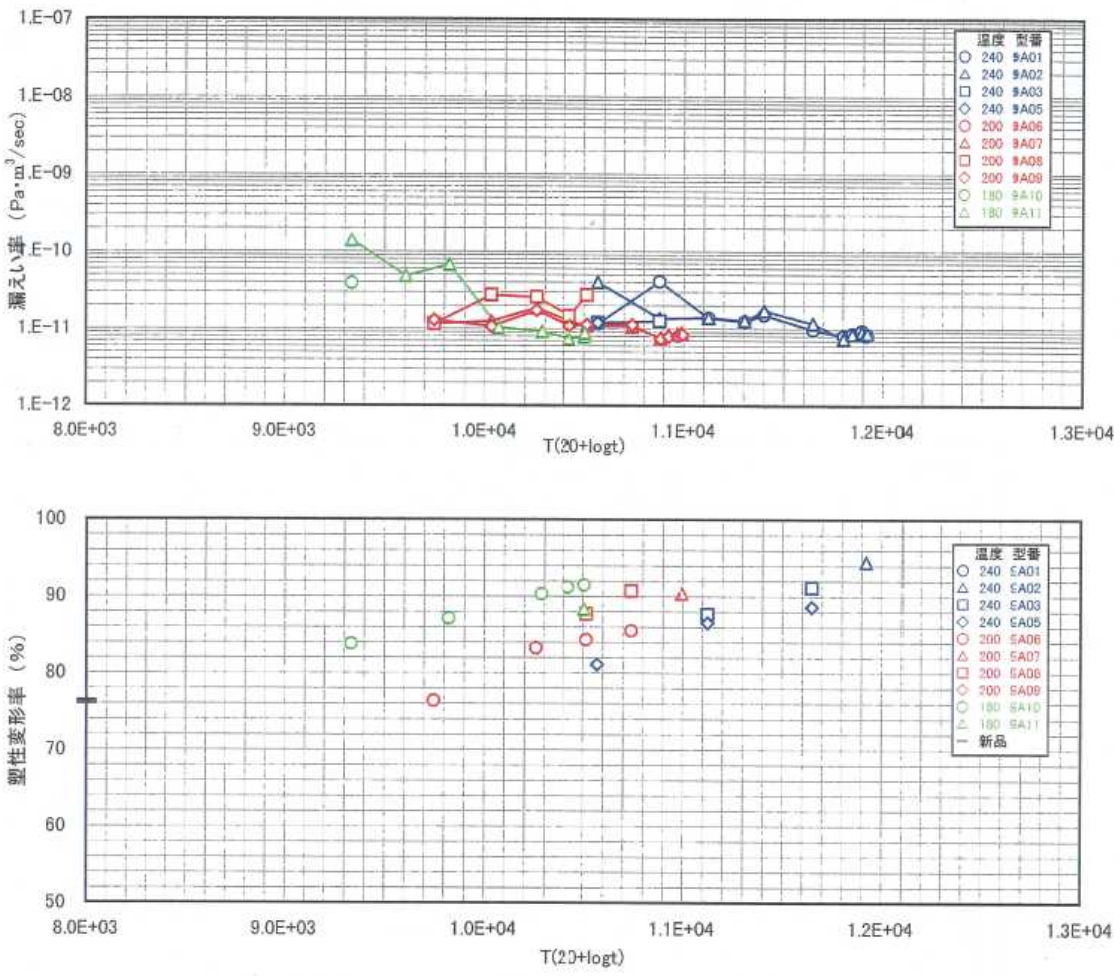
無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添３－２図　実機大のキャスク蓋部モデルを使用した長期密封試験[3)]

（φ6.1　Al 外被ガスケット）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添３－３図　金属ガスケット塑性変形率及び漏えい率と LMP の関係[4)]

（φ10　Al 外被ガスケット）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考文献

1) 加藤，伊藤，三枝，「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」，日本原子力学会誌，Vol.38，No.6（1996），

2)（財）電力中央研究所，「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」，U92009，（財）電力中央研究所，（平成 4 年 7 月）

3)（財）電力中央研究所，「平成 20 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等（中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵設備長期健全性等調査）報告書」，（財）電力中央研究所，（平成 21 年 3 月）

4)（財）原子力発電技術機構，「平成 12 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験（金属キャスク貯蔵技術確証試験）報告書）」，（財）原子力発電技術機構，（平成 13 年 3 月）

5)（独）原子力安全基盤機構，「平成 15 年度金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書」，（独）原子力安全基盤機構，（平成 16 年 6 月）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第６条　除熱（金属キャスク）

＜目　次＞

１．設計方針
２．金属キャスクの除熱設計
３．評価結果

（別　添）
別添１　金属キャスクの除熱解析モデルについて
別添２　金属キャスクの除熱設計について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるよう，次の方針に基づき設計を行う。

(1)　金属キャスクは，使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から，使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え，周囲空気，使用済燃料貯蔵建屋に伝達することにより除去できる設計とする。

燃料被覆管の温度は，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から，燃料被覆管の累積クリープ量が１％を超えない温度，照射硬化の回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となるように制限する。

(2)　金属キャスクは，基本的安全機能を維持する観点から，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じてその構成部材の健全性が保たれる温度範囲にあるよう設計する。

(3)　使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては，除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないよう，契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを，記録により確認する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　金属キャスクの除熱設計

(1)　評価基準

金属キャスクの除熱機能の評価基準は，以下のとおりである。(第１表参照)

ａ．燃料被覆管

燃料被覆管の温度は，健全性を維持するために定める下記の制限温度を超えないこと。

・ＢＷＲ使用済燃料集合体の燃料被覆管制限温度

新型８×８燃料	200℃ [1)]
新型８×８ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度８×８燃料	300℃ [1)]

ｂ．金属キャスク構成部材

基本的安全機能及び構造強度を有する部材は，健全性が維持できる下記の制限温度を超えないこと。

・金属キャスク構成部材の制限温度

胴，外筒及び蓋部	350℃ [2)]
中性子遮蔽材	150℃ [3)]
金属ガスケット	130℃ [4)]
バスケット	300℃ [5)]

(2)　使用済燃料集合体の収納条件

除熱機能維持の観点から，設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて燃料被覆管の温度を低く保つことができる設計とし，使用済燃料集合体の収納条件は以下のとおりである。使用済燃料集合体の収納作業は，原子炉設置者が実施することから，原子炉設置者に対して，収納条件を満足した作業の実施，作業記録の作成，収納配置の確認を求める。

ａ．金属キャスクには，原子炉内での運転中のデータ，シッピング検査等により健全であることを確認した使用済燃料集合体を収納する。

ｂ．金属キャスクは，使用済燃料集合体収納時にその内部を真空乾燥し，不活性ガスであるヘリウムガスを封入する。その際，燃料被覆管の制限温度

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

を上回らないように運用管理するとともに乾燥作業時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管から漏えいのないことを確認する。

c．金属キャスクには，貯蔵する燃料仕様，最大崩壊熱量等を満足するように使用済燃料集合体を収納するとともに必要に応じて収納配置等を管理する。第２表にＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）の各収納配置における使用済燃料集合体の仕様を示す。

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）には，「新型８×８ジルコニウムライナ燃料」のみを収納し，中央部に平均燃焼度を超える燃料集合体を配置する。

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）には，「新型８×８ジルコニウムライナ燃料」と燃料被覆管制限温度が同一（300℃）の「高燃焼度８×８燃料」と，制限温度が低い（200℃）「新型８×８燃料」を追加収納することから，燃料仕様，収納配置等を制限した収納管理を行う。

なお，「新型８×８ジルコニウムライナ燃料」と「高燃焼度８×８燃料」を収納する場合を「配置Ａ」，「新型８×８ジルコニウムライナ燃料」と「新型８×８燃料」を混載する場合を「配置Ｂ」，「新型８×８燃料」のみを収納する場合を「配置Ｃ」とした収納配置としている。

(3)　除熱構造

金属キャスクは，除熱のために以下の設計上の配慮を行っている。具体的な構造を第１図に示す。

a．金属キャスクの内部には，強度部材のバスケットプレート（ボロン添加ステンレス鋼）と熱伝導率の高い伝熱プレート（アルミニウム合金）で構成されたバスケットを設け，その中に使用済燃料集合体を収納する。

b．金属キャスク内における使用済燃料集合体を内封する空間には，熱伝導率の高いヘリウムガスを充填し，熱伝達を高める。

c．熱伝導率の低い中性子遮蔽材（レジン）の側部胴体内部には，炭素鋼及び銅からなる伝熱フィンを設け，熱伝導性能を向上させる。

d．除熱機能の監視のため，金属キャスクの表面温度を測定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(4)　除熱解析

金属キャスクが使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計であることを以下の方法により解析する。(別添１参照)

除熱解析フローを第２図に，除熱解析時の保守性を第３表に示す。

ａ．伝熱形態

使用済燃料集合体から発生した崩壊熱は，バスケットからヘリウムガス等の伝導及び輻射により金属キャスク表面に伝えられ，対流及び輻射により金属キャスク周囲の空気，使用済燃料貯蔵建屋に伝えられる。さらに金属キャスク本体胴の外側には中性子遮蔽材が設けられ，レジンのような熱伝導率の低い中性子遮蔽材を用いる場合は伝熱フィンを設け，伝熱性能を向上させる。なお，ヘリウムガス対流効果による金属キャスク端部付近温度への影響は比較的小さいため，評価上は対流を考慮していない。具体的な伝熱形態を第３図に示す。

ｂ．使用済燃料集合体の崩壊熱評価方法

使用済燃料集合体の崩壊熱は，燃料型式，燃焼度，濃縮度，冷却年数等を条件として燃焼計算コードＯＲＩＧＥＮ２を使用して核種の生成，崩壊及びそれに基づく発熱量を計算する。(別添２参照)

ここで，金属キャスクに収納できる使用済燃料集合体の崩壊熱量の総量を最大崩壊熱量とし，除熱設計上，保守的に使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮した崩壊熱量を設計崩壊熱量とする。

ｃ．金属キャスク各部の温度評価方法

金属キャスクの各部の温度は，使用済燃料集合体の崩壊熱及び金属キャスク周囲温度等を条件として，金属キャスクの実形状をモデル化し，有限要素法コードＡＢＡＱＵＳを使用して求める。

金属キャスクの各部温度評価に当たっては，以下の２種類の熱解析モデルを用いる。

(a)　全体モデル　：軸方向温度解析（金属キャスク本体，金属ガスケット等の温度評価）（第４図参照）

(b)　輪切りモデル：半径方向温度解析（金属キャスク本体，バスケット等の温度評価）（第５図参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

また，金属キャスク周囲の境界条件を第４表に示す。

ｄ．燃料被覆管の温度解析方法

燃料被覆管の温度は，使用済燃料集合体の崩壊熱と輪切りモデルで求められたチャンネルボックス又はバスケットの温度を条件として，使用済燃料集合体及びチャンネルボックス又はバスケットの実形状をモデル化し，有限要素法コードＡＢＡＱＵＳを使用して求める。

燃料被覆管の温度評価は,燃料集合体モデルで解析を行う(第６図参照)。

3. 評価結果

金属キャスクの除熱解析結果を第５表及び第７図に示す。

解析の結果，ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）及びＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）とも，収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間を制限し，収納配置を管理することで，燃料被覆管温度及び金属キャスクの構成部材の各部温度が評価基準値を満足しており，金属キャスクは，使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計となっていることを確認した。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

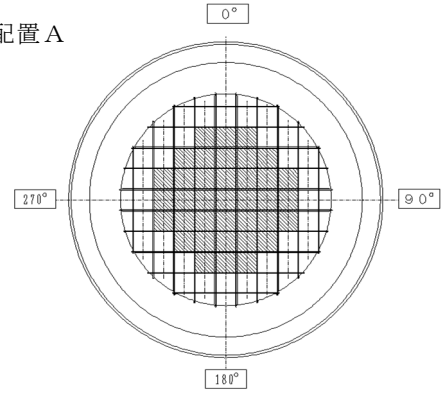
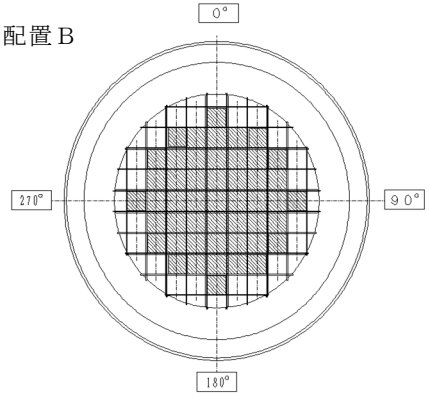
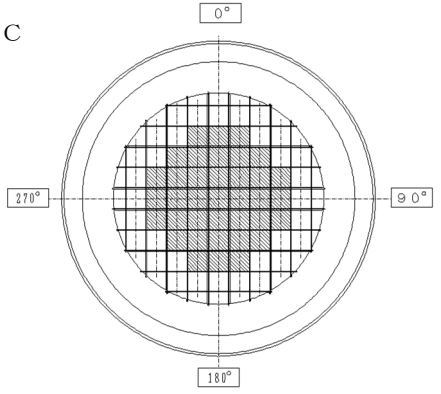
第１表　評価基準値の考え方

材　料	評価基準値の考え方
燃料被覆管	機械的特性の低下を防止する観点から，水素化物再配向及び照射硬化回復による機械的特性の低下が見られない制限温度として，300℃（ライナあり）及び200℃（ライナなし）を設定。 また，クリープ変形防止の観点からは，判断基準として累積クリープ量が1%を超えない温度であることを確認している。
炭素鋼（本体胴，一次蓋，二次蓋）	JSME 設計・建設規格で定めている温度範囲の上限値（350℃）を評価基準値と設定。除熱解析の結果，各部材の評価温度は基準値よりも十分に低く，また，クリープの影響が考えられる温度領域（約 285～315℃）よりも低いため，クリープを考慮する必要はない。
中性子遮蔽材	樹脂開発メーカの技術資料，文献等を参考に遮蔽性能の健全性が維持される評価基準値として 150℃以下を設定。（ただし，設計評価期間中の経年変化により僅かに重量減損が生じるため，遮蔽評価上，保守的に重量減損を考慮している。）
金属ガスケット	金属ガスケットの長期健全性について文献等の調査を実施。その結果，高温時の健全性について，ラーソンミラーパラメータ（LMP）を用いた評価では，150℃で長期間の閉じ込め機能が期待できること，また，長期密封性能試験では，130～140℃一定の状態で閉じ込め機能が維持できることを確認しているため，評価基準値を130℃以下と設定。
バスケット	JSME 金属キャスク構造規格のバスケット用ボロン添加ステンレス鋼の事例規格で定めている温度範囲の上限値（300℃）を評価基準値と設定。除熱解析の結果，バスケットの評価温度は基準値以下であること，また，クリープの影響が考えられる温度領域（約 285～290℃）よりも低いため，クリープを考慮する必要はない。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第２表　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２，タイプ２Ａ）の収納配置及び各収納配置における使用済燃料集合体の仕様

キャスクタイプ	タイプ2	タイプ2A		
収納する使用済燃料集合体	①新型８×８ジルコニウムライナ燃料	①新型8×8ジルコニウムライナ燃料 ，　②高燃焼度8×8燃料 ，　③新型8×8燃料		
収納配置	①のみ収納	①のみ収納， ②のみ収納， ①及び②を収納	①及び③を収納	③のみ収納
	配置Ａ  ：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲		配置Ｂ  ：新型８×８燃料を収納しない範囲	配置Ｃ  ：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲
収納物平均燃焼度	34,000MWd/t	34,000MWd/t		26,000MWd/t
収納物最高燃焼度	40,000MWd/t	34,000MWd/t		28,500MWd/t
冷却期間	18 年以上	24 年以上		24 年以上
最大崩壊熱量	12.1kW / 基	10.9kW / 基		8.0kW / 基
収納配置と燃料仕様の選定の考え方	燃焼度及び冷却期間を制限し，新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の最大崩壊熱量と線源強度を超えないような高燃焼度8×8燃料を収納する。 新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料及び高燃焼度8×8燃料の燃料被覆管制限温度は同一であることから，従来の新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の評価結果に包絡され，中央部に最高燃焼度燃料，外周部に平均燃焼度燃料を配置する。	燃焼度，冷却期間を制限し，収納配置を管理し，配置Cよりも高い燃焼度の新型8×8燃料の燃料被覆管温度の制限値を満足するように，新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料と新型8×8燃料を収納する。 新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料の最高燃焼度を 34,000MWd/t 以下に制限するとともに，中央部には新型8×8燃料を収納しない配置としている。		燃焼度及び冷却期間を制限し，新型8×8燃料をすべて収納しても，燃料被覆管温度の制限値を満足するような新型8×8燃料を収納する。燃料被覆管の温度を安全側に評価するように，平均燃焼度を超える燃料を中央部に配置している。燃焼度及び冷却期間の条件から配置Aの線量当量率を超えることはない。

第３表　除熱解析時の保守性

No.	項　目	内　容	影　響
1	崩壊熱量	軸方向燃焼度分布を包絡する崩壊熱分布として実際よりも大きい設計崩壊熱量で評価。(約 27%増)	最大崩壊熱量を保存して中心部温度を保守的に評価するよりも，設計崩壊熱量で評価した方がさらに保守的な温度が得られる。(各部材 10～20℃程度高い)
2	キャスク底部の境界条件	実際には貯蔵架台に接触しているキャスク底部を断熱条件として評価。	キャスク全体，特に底部中性子遮蔽材の温度をより高く評価。(10℃程度高い)
3	周囲空気温度	金属キャスクの周囲空気温度を 45℃一定として評価。ただし，キャスク間の輻射による温度上昇は考慮してない。	キャスク全体の温度を数度高く評価。(使用済燃料貯蔵建屋の排気温度:約 40℃)
4	軸方向への熱の移動の考慮方法	輪切りモデルでは全体モデルと等価になるように軸方向への熱の移動を考慮しているが，中央部の燃料領域では軸方向を断熱として評価。	本解析(全体モデル／輪切りモデル)と三次元モデル解析結果を比較した結果，各部位の温度は保守的であることを確認。(燃料領域の温度が8℃程度高い)
5	ギャップの考慮	バスケット構造により実際は接触する箇所を非接触とし，保守的なギャップをモデル化して評価。	バスケットの各構造部材の温度をより高く評価。(5℃程度高い)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第４表　金属キャスク周囲の境界条件

項　目			入　力
境界条件	環境温度	対　流	45℃（貯蔵区域内の電気品等の使用を考慮）
		輻射	65℃（コンクリート強度を考慮した制限温度）
	天井及び床面輻射率		0.8（コンクリート表面塗装）
	キャスク表面輻射率		0.8（外筒を白系塗装）
	キャスク側部 表面熱伝達率		Jakob 垂直平面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.129\lambda \left(\frac{g\beta\Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$
	キャスク上向き 面表面熱伝達率		加熱水平上面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.13\lambda \left(\frac{g\beta\Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$
	キャスク下向き 面表面熱伝達率		加熱水平下面の層流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.6\lambda / D \left(\frac{g\beta\Delta t}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5}$
	底部熱移動		断熱

※ h：熱伝達率(W/m^2/K)，λ：熱伝導率(W/m/K)，D:平板の幅(m)，g：重力加速度(m/s^2)，

β：体積膨張係数(1/K)，ν：動粘性係数(m^2/s)，Pr：プラントル数(－)，

Δt：温度差(K)

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

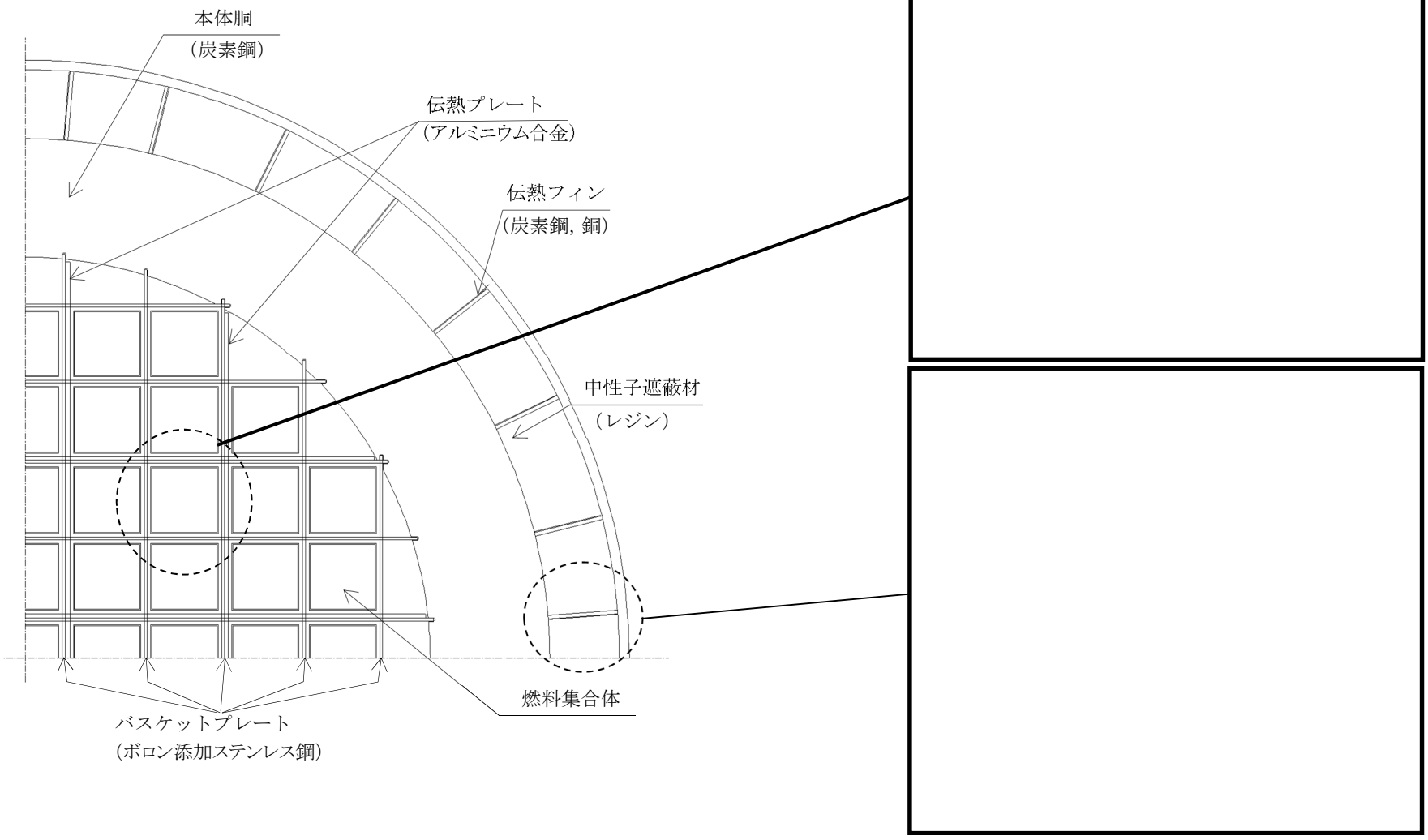
第５表　金属キャスクの除熱解析結果

		BWR用大型キャスク					評価基準値	備　考
		タイプ2	タイプ2A					
		新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料	新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料と新型8×8燃料	新型8×8燃料		
設計崩壊熱量		15.3kW	同左(最大値)	14.6kW	13.6kW	9.78kW	－	軸方向の燃焼度分布を包絡するように設定
最大崩壊熱量		12.1kW			10.9kW	8.0kW	－	－
燃料被覆管温度		259℃ BWR燃料 (ライナあり)	同左(最大値)	(注)	189℃(最大値) BWR燃料 (ライナなし)	185℃ BWR燃料 (ライナなし)	300℃以下 [1)] BWR燃料(ライナあり) 200℃以下 [1)] BWR燃料(ライナなし)	燃料被覆管の健全性が維持される制限温度
金属キャスク各部最高温度	本体胴	142℃(炭素鋼)	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)	350℃以下 [2)] (炭素鋼)	構造強度の健全性が維持される制限温度
	一次蓋	96℃(炭素鋼)	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)		
	二次蓋	85℃(炭素鋼)	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)		
	中性子遮蔽材 (レジン)	128℃	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)	150℃以下 [3)]	中性子遮蔽材の性能が維持される制限温度
	金属ガスケット	89℃	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)	130℃以下 [4)]	閉じ込め機能が維持される制限温度
	バスケット	248℃ (ボロン添加 ステンレス鋼)	同左(最大値)	(注)	(注)	(注)	300℃以下 [5)] (ボロン添加 ステンレス鋼)	構造強度の健全性が維持される制限温度
収納配置		配置A	配置A	配置A	配置B	配置C	－	－

(注):設計崩壊熱量が最大である新型8×8ｼﾞﾙｺﾆｳﾑﾗｲﾅ燃料を収納した状態で各部温度が最大値となる。
なお，冷却期間は 18 年(配置A)及び 24 年(配置B，C)を前提。

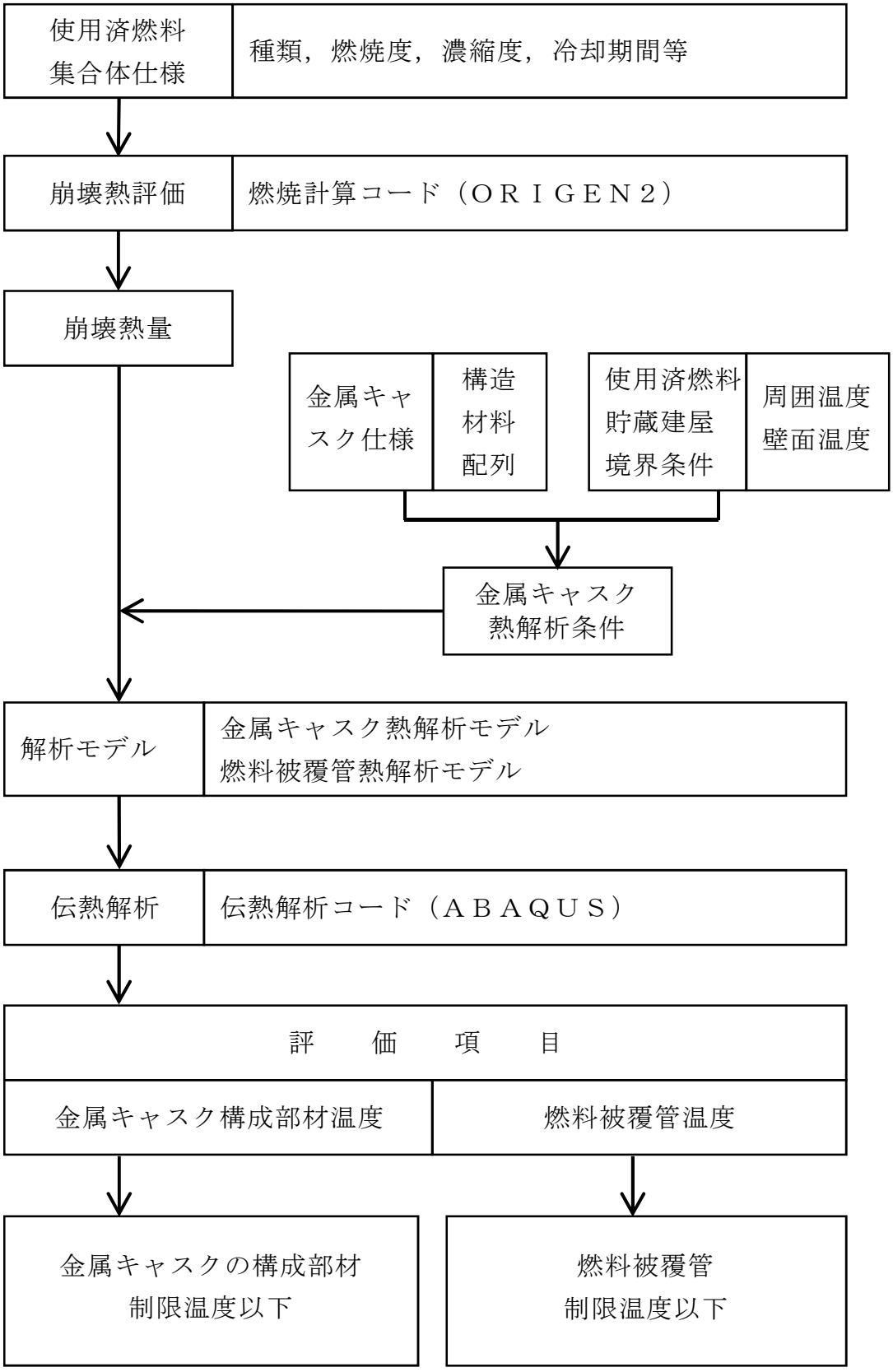
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



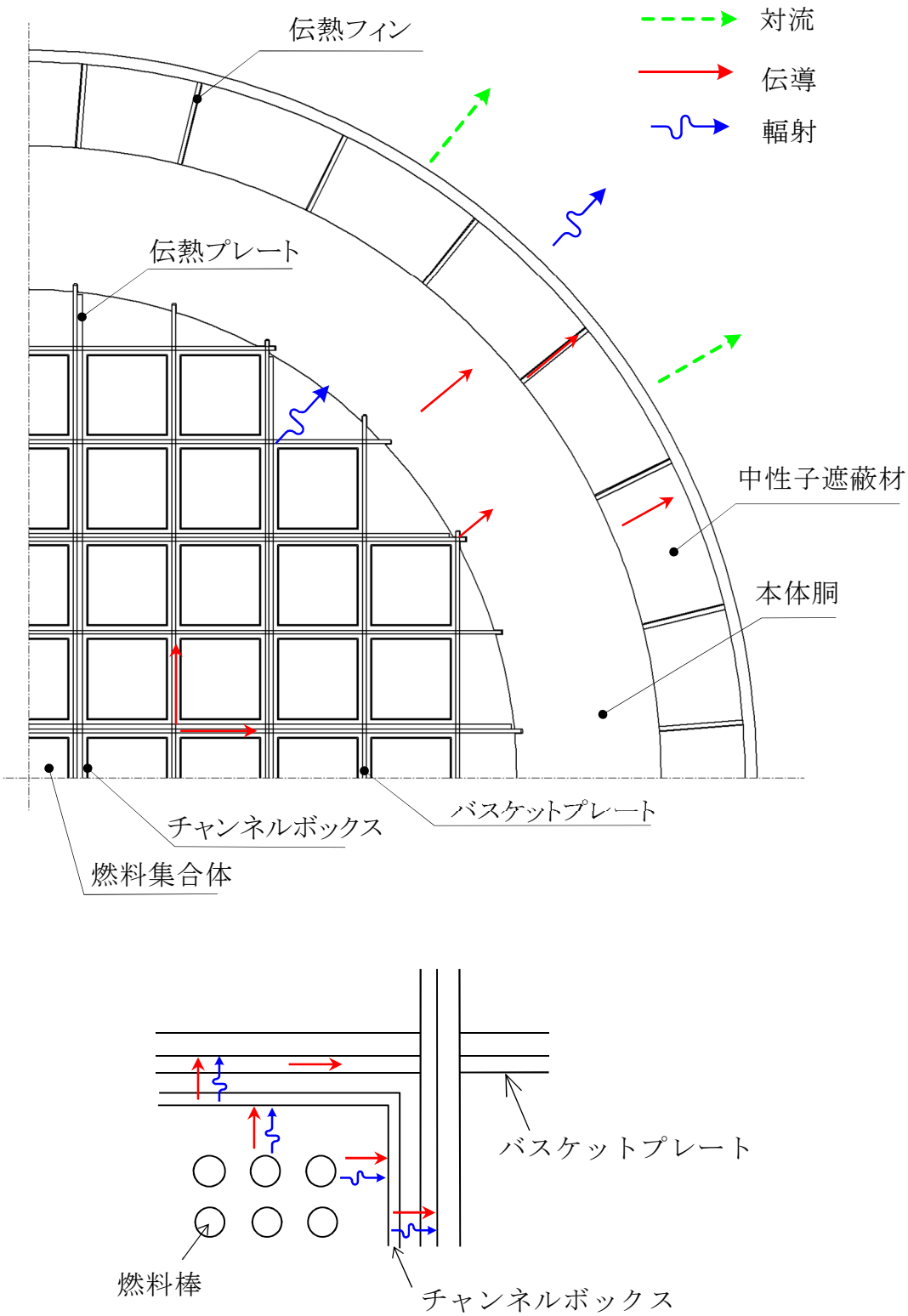
第１図　金属キャスクの除熱構造図

(BWR用大型キャスク(タイプ2)／BWR用大型キャスク(タイプ2A))



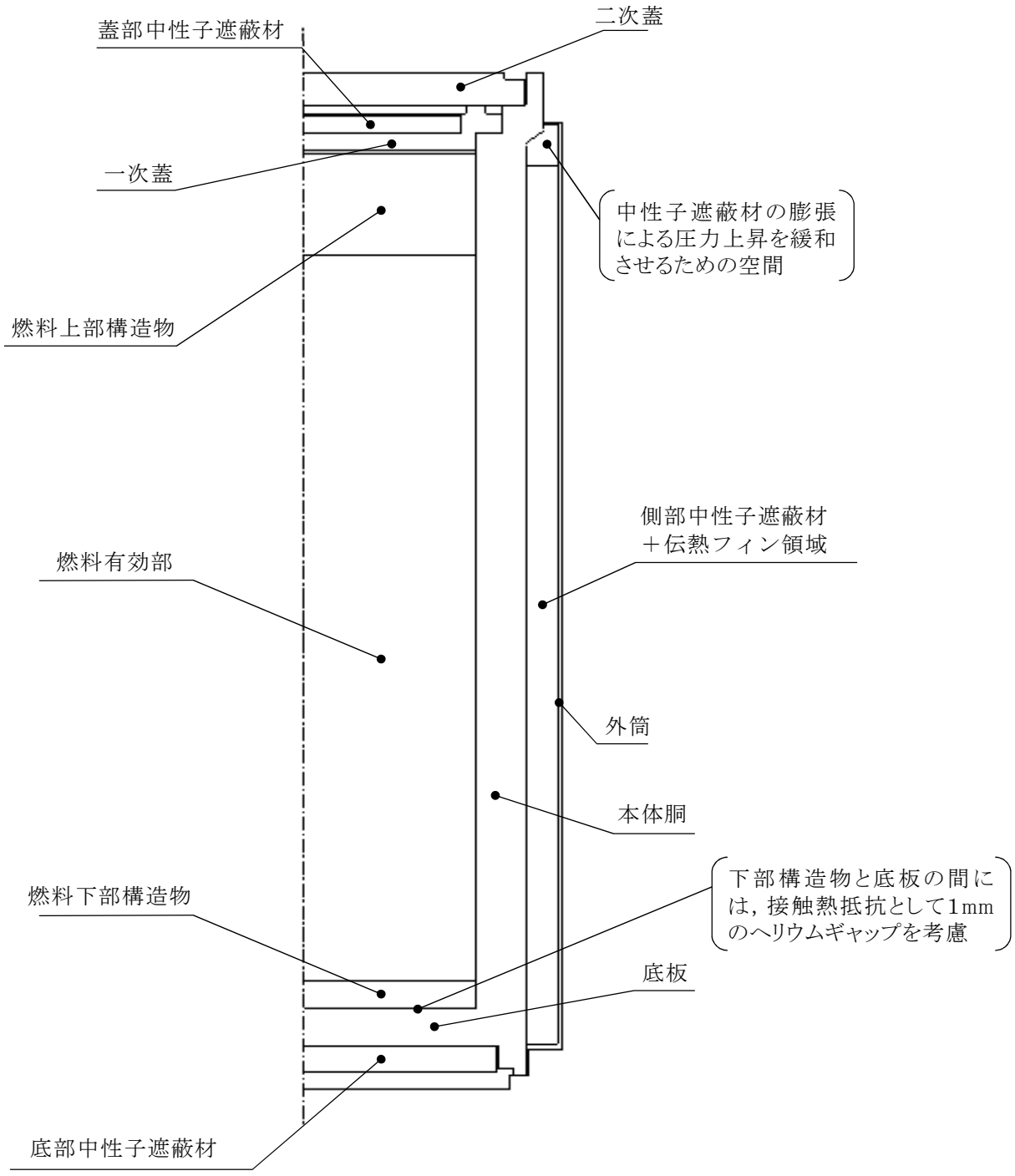
第２図　金属キャスクの除熱解析フロー図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



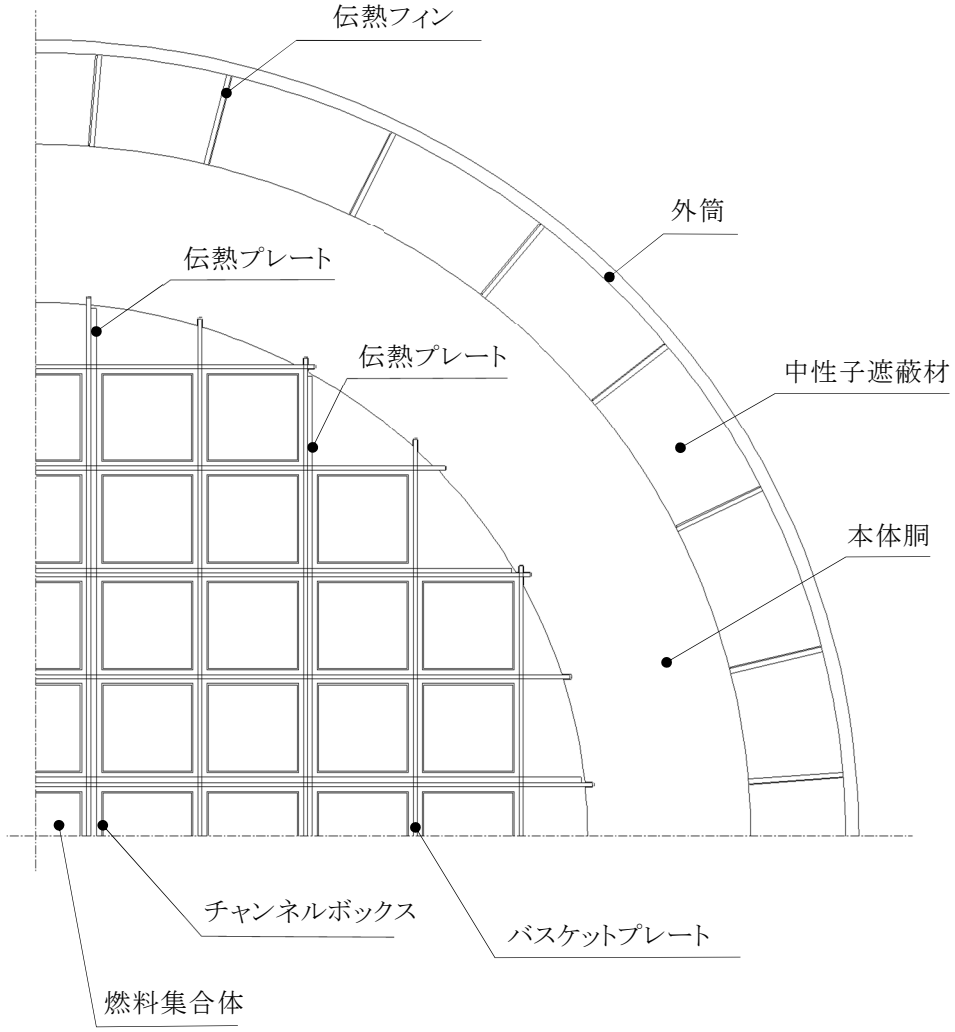
第３図　金属キャスクの伝熱形態
（BWR用大型キャスク（タイプ2）／BWR用大型キャスク（タイプ2A））

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



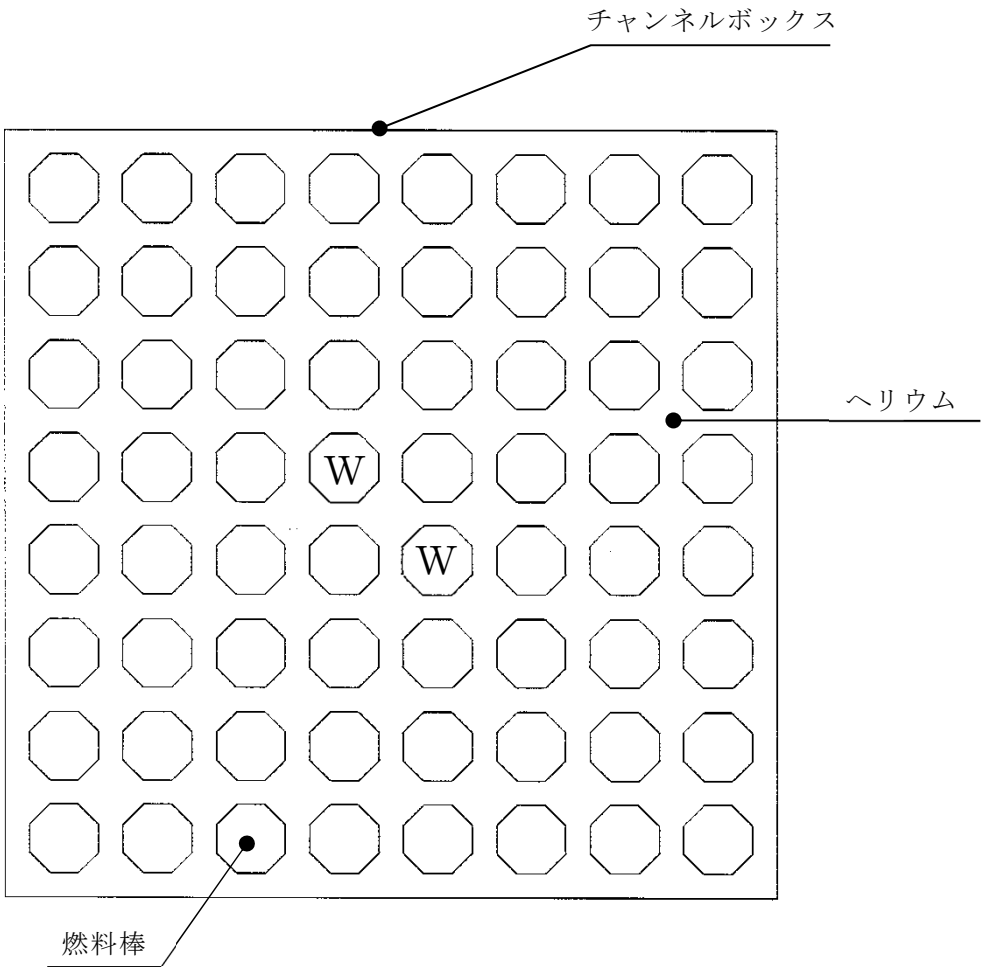
第４図　全体モデル図
（BWR用大型キャスク（タイプ2）／BWR用大型キャスク（タイプ2A））

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第５図　輪切りモデル形状図
（BWR用大型キャスク（タイプ2）／BWR用大型キャスク（タイプ2A））

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

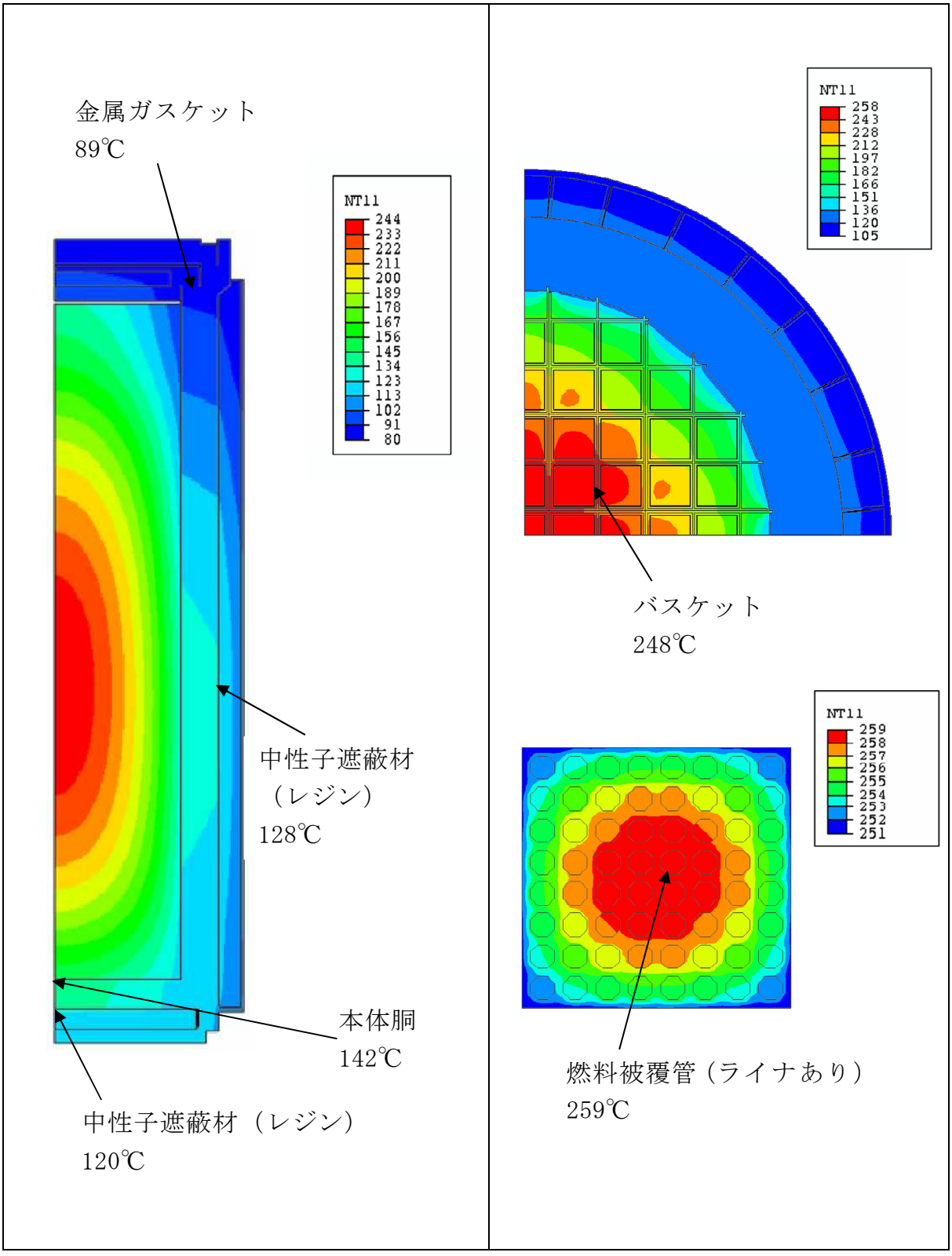


注）Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

第６図　燃料集合体モデル

（BWR用大型キャスク（タイプ2）／BWR用大型キャスク（タイプ2A））

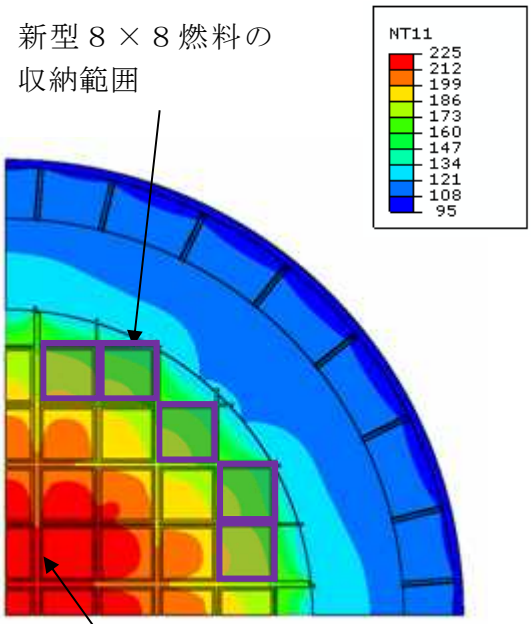
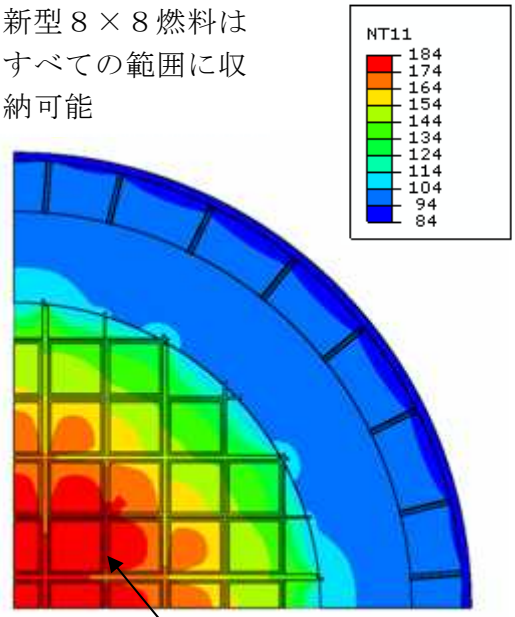
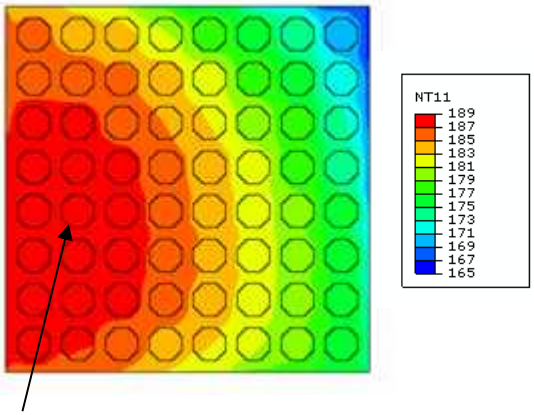
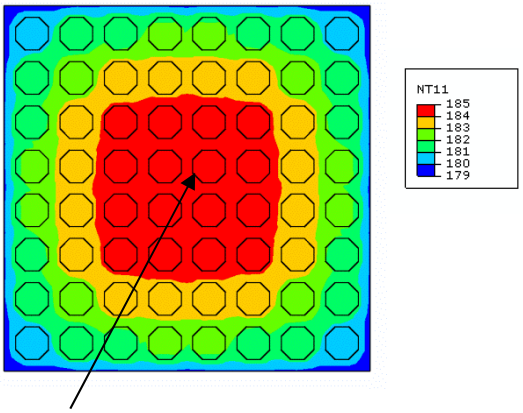
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第７図(1)　金属キャスクの除熱解析結果(配置Ａ)

(BWR用大型キャスク(タイプ2)／BWR用大型キャスク(タイプ2A))

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

配置Ｂの除熱解析結果	配置Ｃの除熱解析結果
新型８×８燃料の収納範囲  バスケット 218℃	新型８×８燃料はすべての範囲に収納可能  バスケット 178℃
新型８×８燃料の収納範囲での最高温度  燃料被覆管（ライナなし） 189℃	 燃料被覆管（ライナなし） 185℃

第７図(2)　金属キャスクの除熱解析結果(配置Ｂ，Ｃ)

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考文献

1)(社)日本原子力学会,“日本原子力学会標準　使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010”, AESJ-SC-F002:2010, (2010)

2)(社)日本機械学会,“使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)”JSME S FA1-2007, (2007)

3) N. Kumagai, M. Kamoshida, K. Fujimura, et.al.,“Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc.the 15th Int. Symp. on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, Oct. 21-26, 2007, (2007)

4)(財)電力中央研究所,「平成20年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵設備長期健全性等調査)報告書」,(平成21年3月)

5)(社)日本機械学会,“使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版) JSME S FA1-2007, 事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板B-SUS304P-1に関する規定”JSME S FA-CC-004, (2009)

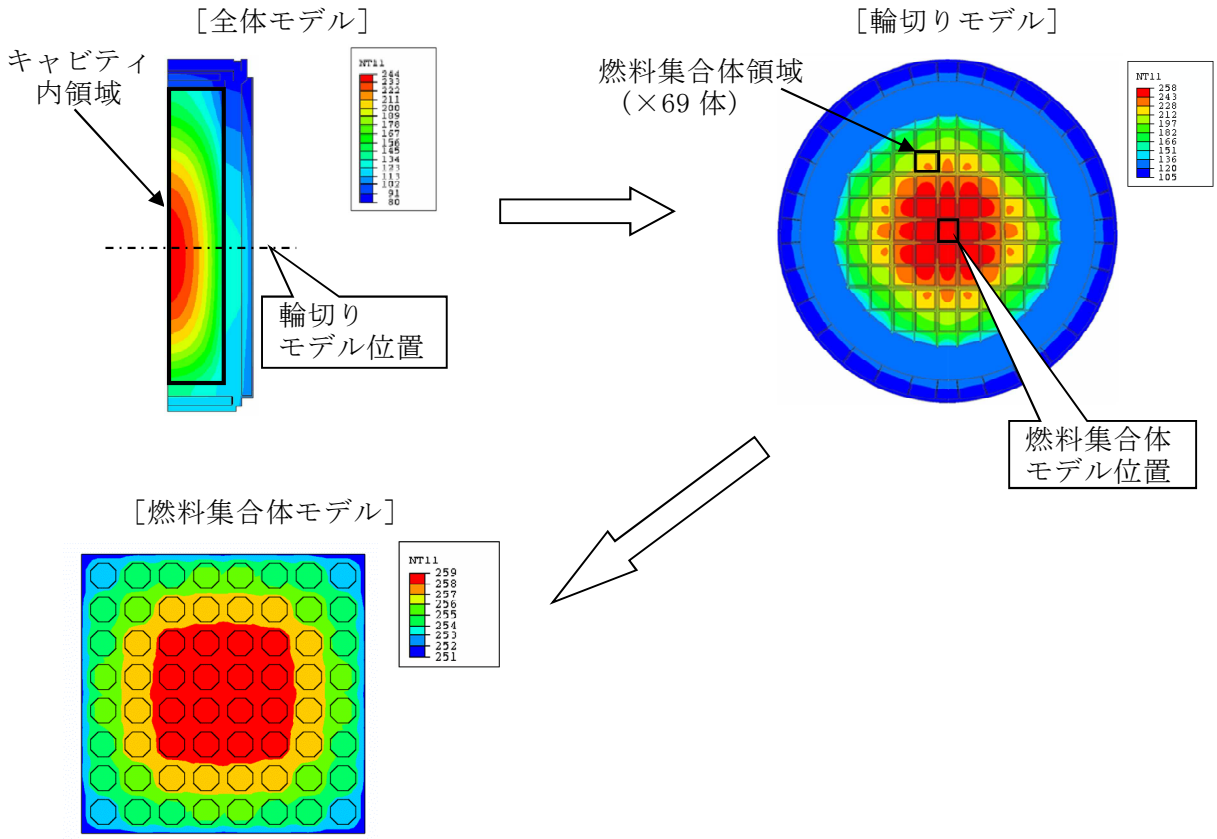
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

金属キャスクの除熱解析モデルについて

1.　除熱解析のモデル化

金属キャスクの除熱解析は全体モデル→輪切りモデル→燃料集合体モデルのフローで実施する。除熱解析フローの概念図を別添１－１図に示す。

全体モデルでは,キャビティ内領域を均質化して解析をしていることから,燃料被覆管やバスケットの詳細な温度分布を評価することが出来ない。そこで，全体モデルで最も温度が高くなるキャスク中央部断面を抽出して，キャビティ内領域をより詳細にモデル化した輪切りモデルを使った解析を実施する。一方，輪切りモデルは燃料集合体領域を均質化して解析をしていることから，燃料集合体内部の詳細な温度分布評価が出来ない。そこで，燃料被覆管温度を保守的に評価するために,最も温度の高い燃料集合体領域において,燃料集合体モデルを使った解析を実施して燃料被覆管の最高温度を評価する。



別添1－1図　除熱解析フロー概念図（BWR 用大型キャスク（タイプ2））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

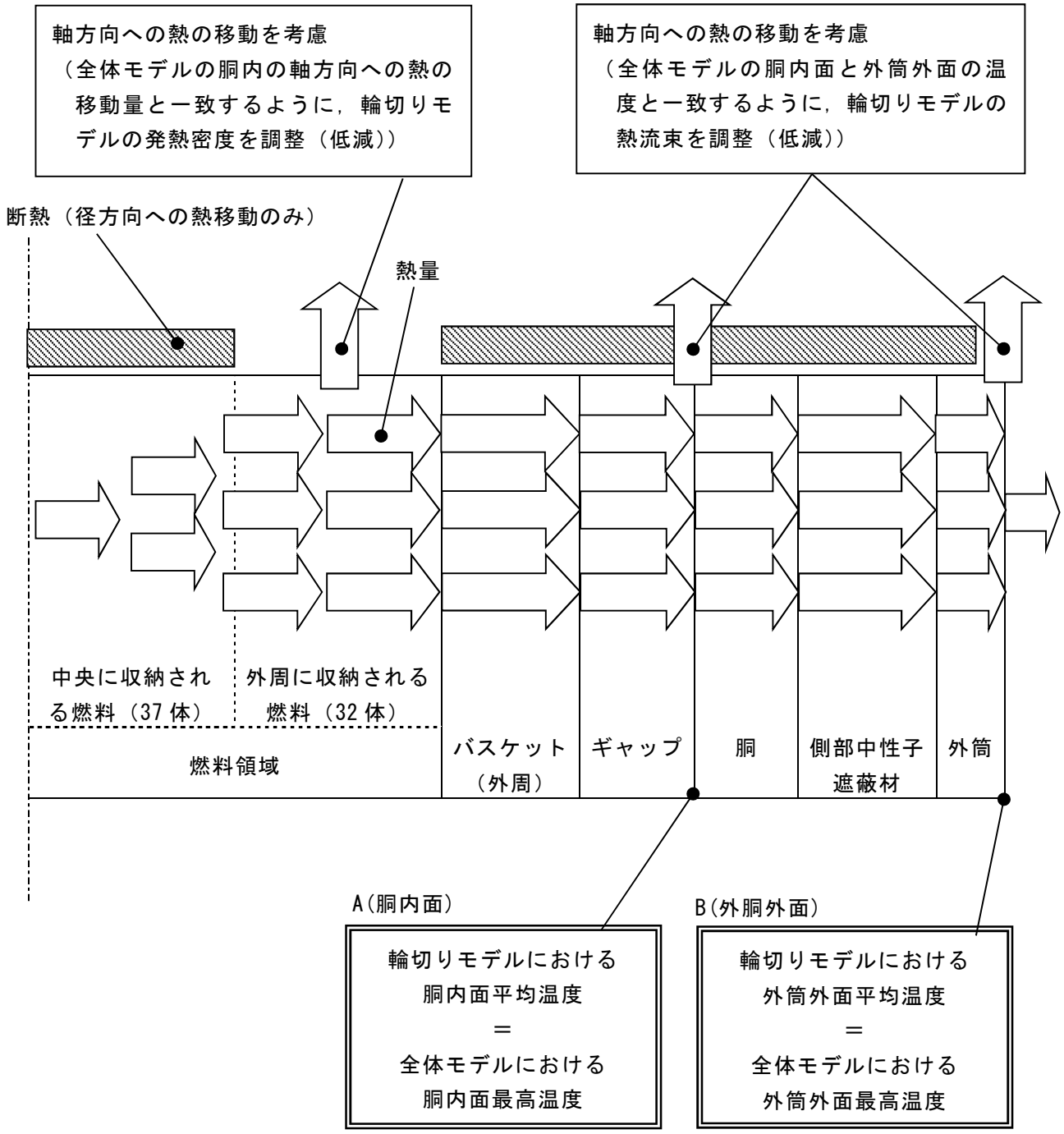
2.　輪切りモデルの軸方向への熱移動

輪切りモデルの解析では，全体モデルの解析結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮している。すなわち，全体モデルで最も温度が高くなる中央部断面を抽出して輪切りモデルによる評価を実施している。この場合，輪切りモデルの軸方向への熱移動を考慮することにより全体モデルの結果と等価となるような調整を実施している。調整方法は以下のとおり。(別添１－２図参照)

全体モデルの胴内の軸方向への熱の移動量と一致するように，輪切りモデルの燃料領域外周部の発熱密度を調整する。また，輪切りモデルの胴内面と外筒外面の温度が,全体モデルの胴内面と外筒外面の温度と一致するように,輪切りモデルの熱流束を低減するよう調整する。

なお，燃料領域において，発熱密度を調整する領域を平均燃焼度以下の燃料がある外周部領域のみとすることで，最高燃焼度燃料がある中心部燃料領域の最高温度が高くなるよう保守的に評価するモデルとしている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－２図　輪切りモデルにおける軸方向への熱移動のモデル化概念図
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3.　解析手法の妥当性

金属キャスクの除熱評価に用いている，二次元の全体モデル及び輪切りモデルを組み合わせた解析手法（以下「現手法」という。）の妥当性を確認するため，三次元モデルを用いた除熱解析を実施している。

三次元モデル解析では現手法のモデル化とは異なり，個々の燃料集合体を直方体形状としてモデル化し，さらにバスケット領域を均質化することなくモデル化している（輪切りモデルを軸方向へ延長）。これにより軸方向及び径方向への熱移動は実形状に即した評価が可能となるため，三次元モデルと現手法による解析結果を比較することにより,現手法の妥当性が確認できる。

三次元モデルによる解析結果と現手法（全体モデル／輪切りモデル）による解析結果の比較を別添１－１表と別添１－３図に示す。

三次元モデルを用いた解析の結果，各評価部位の温度は，現手法と同等又は低い温度結果が得られており,現手法が軸方向の熱の逃げを適切に考慮し,保守的な評価をしていることを確認した。

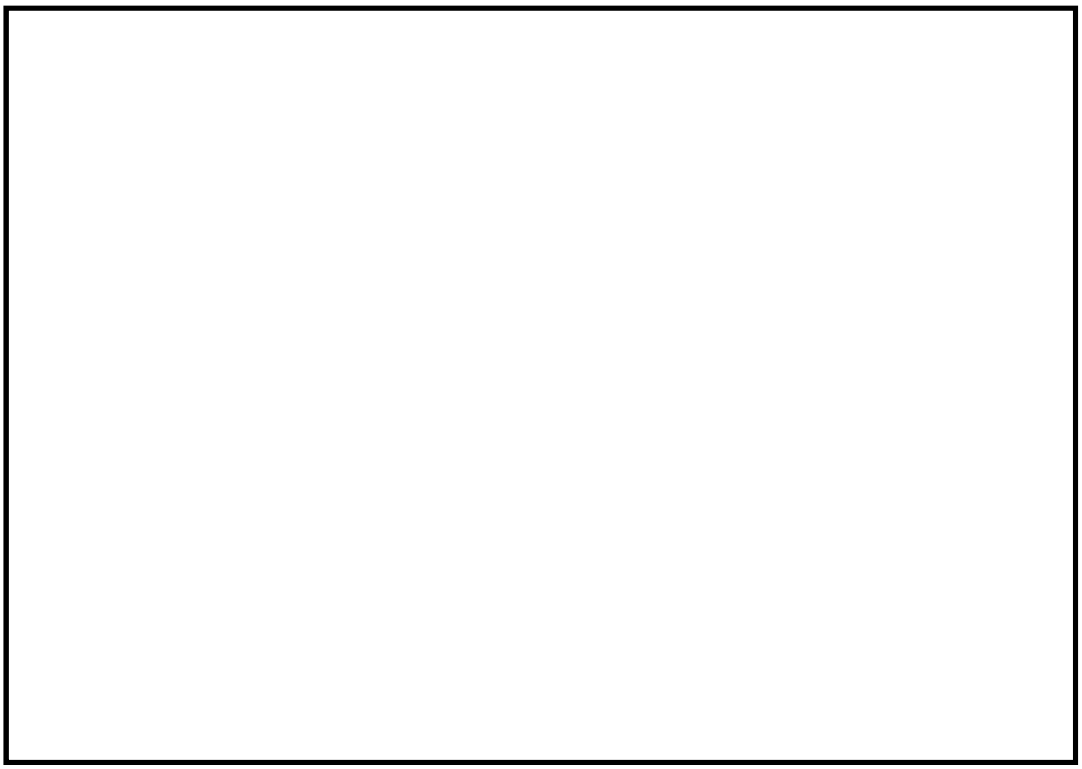
別添１－１表　三次元モデルと現手法とによる解析結果の比較

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２））

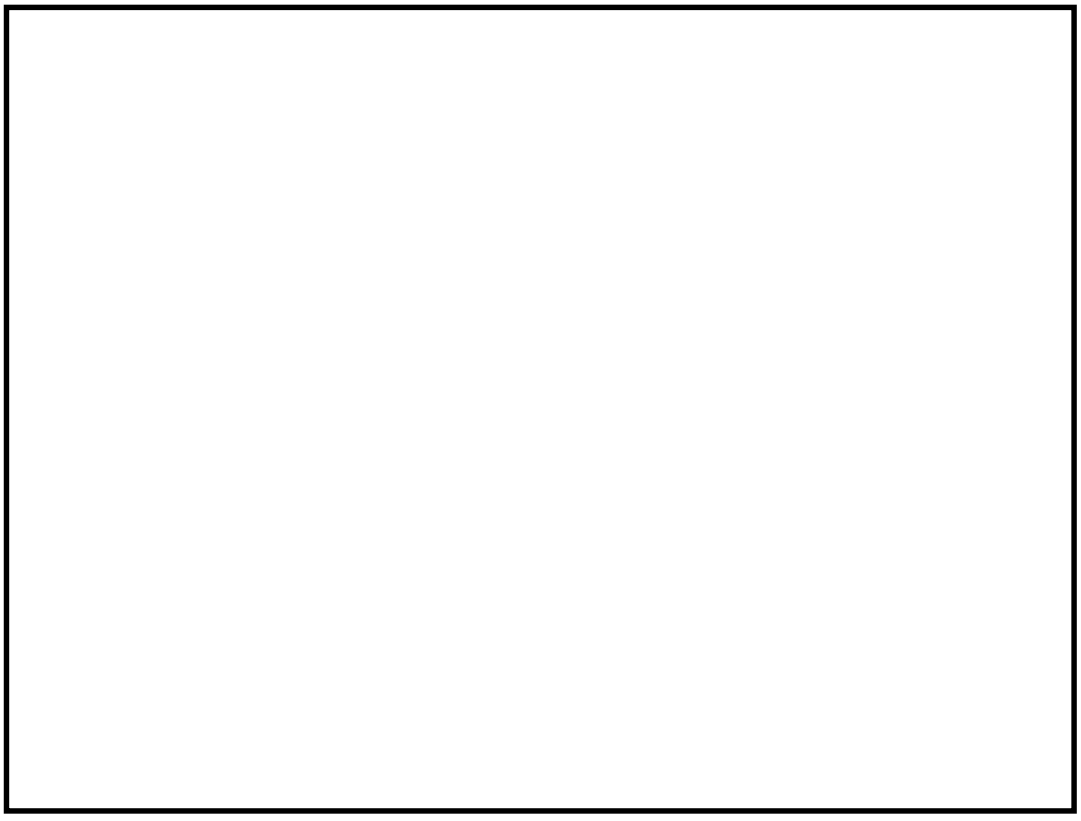
評価部位	最高温度解析結果(℃)	
	三次元	現手法
側部中性子遮蔽材(④)	127	128
本体胴（側部）(③)	134	135
バスケット(②)	243	248
燃料均質化領域(①)	251	259

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



三次元モデル　　（燃料領域の最高温度評価断面）



全体モデル　　輪切りモデル

別添1－3図　三次元モデルと全体モデル/輪切りモデルによる解析結果の比較

（BWR用大型キャスク（タイプ 2））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

金属キャスクの除熱設計について

1.　使用済燃料集合体の崩壊熱評価

(1)　燃焼計算条件（ＯＲＩＧＥＮ２）

使用済燃料集合体の崩壊熱の計算に用いる燃料仕様に基づく燃焼計算条件を別添２－１表～別添２－２表に示す。（添付参照）

別添２－１表　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）

燃料タイプ	８×８BJ	
平均燃焼度(MWD/MTU)	34000	
最高燃焼度(MWD/MTU)	40000	
比出力(MW/MTU)	25.3	
照射期間(日)(平均燃焼度)	1344	
照射期間(日)(最高燃焼度)	1582	
濃縮度(%)	2.88	
冷却期間（年)	18	
Ｕ重量（kg)	177	
軸方向ピーキングファクタ	ノード	PF
上	1,2/48	0.7
	3/48	0.8
	4,5/48	1.0
	6-8/48	1.1
	9-14/48	1.2
	15-42/48	1.3
	43,44/48	1.2
	45/48	1.1
	46/48	1.0
下	47,48/48	0.8
ライブラリ	ＢＷＲ-U	

凡例：８×８BJ：新型８×８ジルコニウムライナ燃料

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２－２表　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）

燃料タイプ	８×8RJ		８×8BJ		８×8STEP2	
平均燃焼度(MWD/MTU)	26000	－	34000		34000	
最高燃焼度(MWD/MTU)	28500	34000	40000		40000	
比出力(MW/MTU)	25.3		同左		26.2	
照射期間(日)(平均燃焼度)	1344		同左		1298	
照射期間(日)(最高燃焼度)	1582		同左		1527	
濃縮度(%)	2.88		同左		3.35	
冷却期間(年)	24		18		18	
U重量(kg)	177		同左		174	
軸方向ピーキングファクタ	ノード	PF	ノード	PF	ノード	PF
上	1,2/48	0.7	同左		1,2/48	0.7
	3/48	0.8	同左		3,4/48	0.9
	4,5/48	1.0	同左		5,6/48	1.1
	6-8/48	1.1	同左		7-12/48	1.2
	9-14/48	1.2	同左		13-40/48	1.3
	15-42/48	1.3	同左		41,42/48	1.2
	43,44/48	1.2	同左		43,44/48	1.1
	45/48	1.1	同左		45,46/48	0.9
	46/48	1.0	同左		47,48/48	0.7
下	47,48/48	0.8	同左		－	－
ライブラリ	BWR-U					

凡例：　８×８RJ：新型８×８燃料

８×８BJ：新型８×８ジルコニウムライナ燃料

８×８STEP２：高燃焼度８×８燃料

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布について

使用済燃料集合体は，下図の二点鎖線で示すように，軸方向の燃焼度分布により中央領域で高く，両端部では低くなる崩壊熱（発熱）分布を有する。除熱設計では，軸方向の崩壊熱部で崩壊熱分布をほぼ包絡できるよう，別添２―１図の太い実線で示すように崩壊熱量を階段状に安全側に設定している。このため，除熱設計で使用している崩壊熱量（以下「設計崩壊熱量」という。）は本来の最大崩壊熱量より大きくなる。

＜ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２，２Ａ）＞

[最大崩壊熱量]＝[平均燃焼度燃料集合体１体当たりの崩壊熱量（平均燃焼度のＯＲＩＧＥＮ２計算結果）]×1.05×収納体数

＝0.1670 kW/体　×　1.05　×　69 体

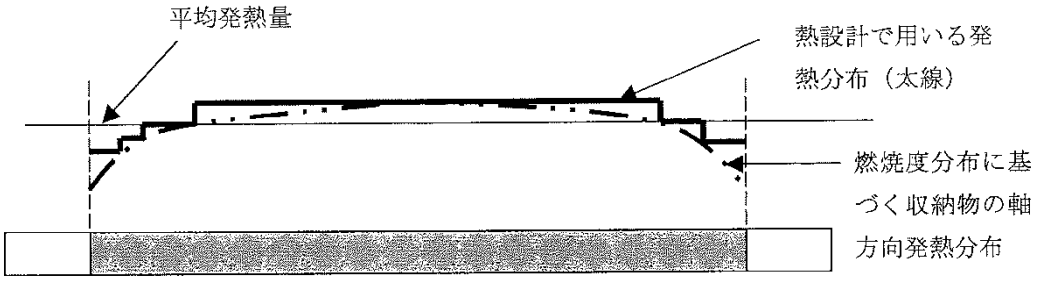
＝12.10 kW 以下

[設計崩壊熱量]＝[軸方向燃焼度分布を包絡した平均燃焼度燃料集合体１体当たりの発熱量（軸方向燃焼度分布を包絡したＯＲＩＧＥＮ２計算結果）]×1.05×収納体数

＝ 0.2118 kW/体 × 1.05 × 69 体

＝ 15.34 kW

除熱解析においてはＯＲＩＧＥＮ２コードの計算結果に５％の裕度を見込んでいる。



別添２－１図　使用済燃料集合体の軸方向発熱分布と設計発熱分布の関係

（出典：日本原子力学会標準「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物　輸送容器の安全設計及び検査基準:2006」AESJ-SC-F006:2006 附属書 46(参考)）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　除熱設計に用いた崩壊熱量

別添２－３表のとおり，除熱設計上は，使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮して，最大崩壊熱量の約 1.27 倍（B/A）の崩壊熱量を仮定して設計している。

別添２－３表　除熱設計に用いた崩壊熱量

	最大崩壊熱量[*1] (A)	設計崩壊熱量[*2] (B)	比率[*3] (B/A)
ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）	12.1kW	15.34kW	約 1.27
ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）	12.1kW	15.34kW	約 1.27

※１　最大崩壊熱量とは，当該金属キャスク１基に収納できる使用済燃料集合体の崩壊熱量の総量をいう。

※２　設計崩壊熱量とは，除熱設計上，保守的に使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮した崩壊熱量をいう。

※３　設計崩壊熱量の裕度を単に比率で表したもの。（除熱設計では安全側に評価するために設計崩壊熱量は金属キャスク本来の最大崩壊熱量より大きい。）

2.　金属キャスク構成部材の温度評価基準値

基本的安全機能及び構造強度を有する部材は，健全性が維持できる温度を超えないこと。具体的には別添２－４表のとおり。

別添２－４表　金属キャスク構成部材の温度評価基準値

構成部材	温度評価基準値
炭素鋼	350℃[1)]
中性子遮蔽材（レジン）	150℃[2)]
金属ガスケット	130℃[3)]
バスケット （ボロン添加ステンレス鋼）	300℃[4)]

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

参考文献

1)“発電用電子力設備規格　設計・建設規格＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞”, 社団法人　日本機械学会, JSME S NC1-2005（2007年追補版を含む）,（2007）

2) N. Kumagai, M. Kamoshida, K. Fujimura, et.al.,“Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc.the 15th Int. Symp. on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, Oct. 21-26, 2007, Ab.#256 (2007)

3)“平成 19 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等（貯蔵設備長期健全性等確証試験）報告書”, 平成20年3月, 財団法人　電力中央研究所

4)“使用済燃料貯蔵施設規格　金属キャスク構造規格（2007年版)”, 社団法人　日本機械学会, JSME S FA1-2007, 事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1に関する規定 FA-CC-004 (2009)

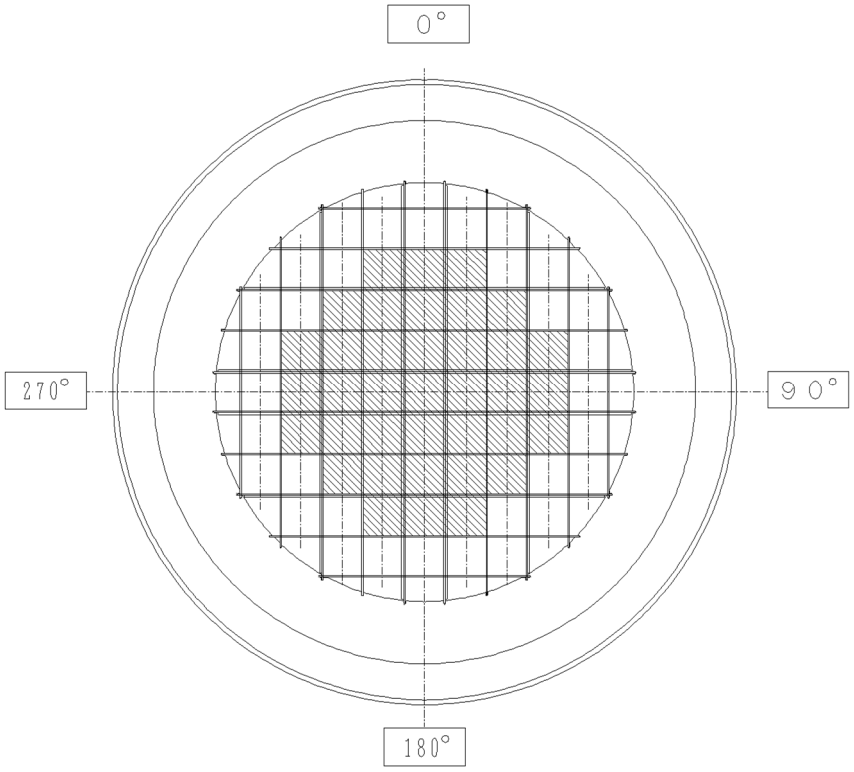
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3.　金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の収納配置について

除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の種類，燃焼度等に応じた収納配置を以下に示す。

(1)　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）

ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２）には，新型８×８ジルコニウムライナ燃料のみを収納し，平均燃焼度を超える使用済燃料集合体は，別添２－２図に示す範囲に収納するものとする。



：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲

別添２－２図　使用済燃料集合体の収納配置
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）

使用済燃料集合体は，各場合に応じて，別添２－３図(1)～別添２－３図(3)に示す範囲に収納するものとする。各場合における使用済燃料集合体の仕様を別添２－５表に示す。

別添２－３図(2)及び別添２－３図(3)の配置による除熱解析結果を別添２－３図(4)に示す。

別添２－５表　ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ）に収納する
各場合における使用済燃料集合体の仕様

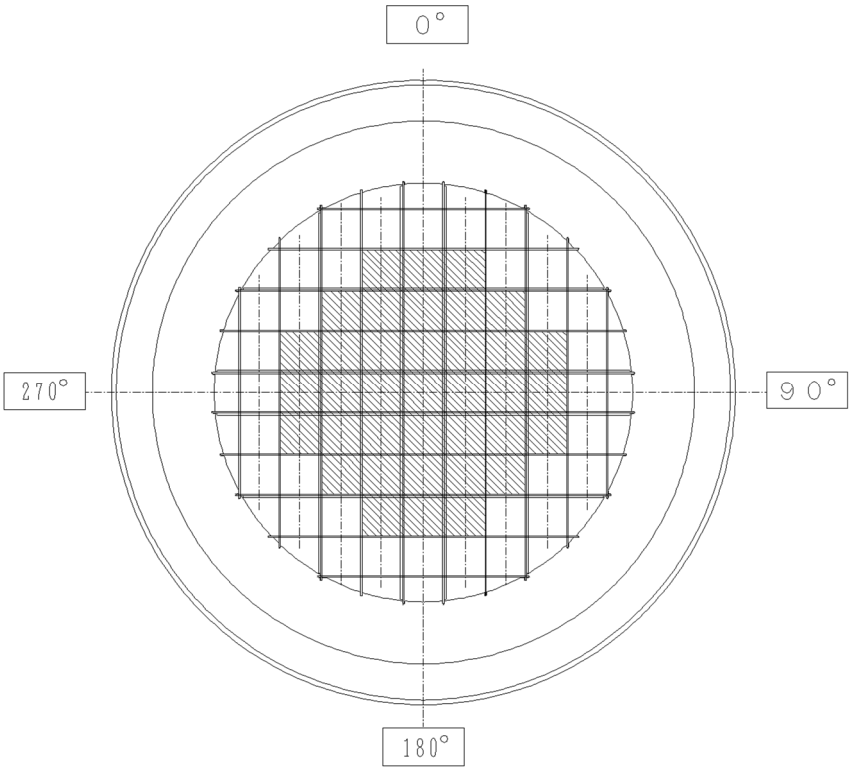
	８×８RJ	８×８RJ ８×８BJ	８×８BJ	８×８STEP２
平均燃焼度	26,000MWD/MTU 以下	－	34,000MWD/MTU 以下	34,000MWD/MTU 以下
最高燃焼度	28,500MWD/MTU 以下	34,000MWD/MTU 以下	40,000MWD/MTU 以下	40,000MWD/MTU 以下
冷却期間	24 年以上	24 年以上	18 年以上	18 年以上
収納配置	別添2－3図(3)	別添2－3図(2)	別添2－3図(1)	

凡例　８×８RJ：新型８×８燃料

８×８BJ：新型８×８ジルコニウムライナ燃料

８×８STEP２：高燃焼度８×８燃料

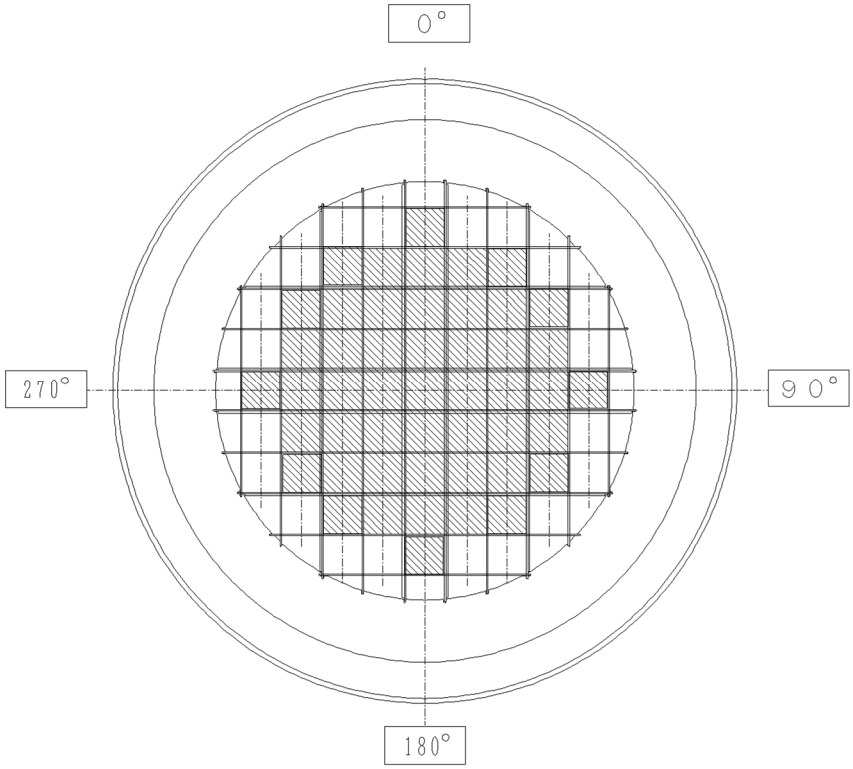
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



：平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲

別添２－３図(1)　使用済燃料集合体の収納配置
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））
（新型８×８ジルコニウムライナ燃料及び
高燃焼度８×８燃料を収納する場合）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



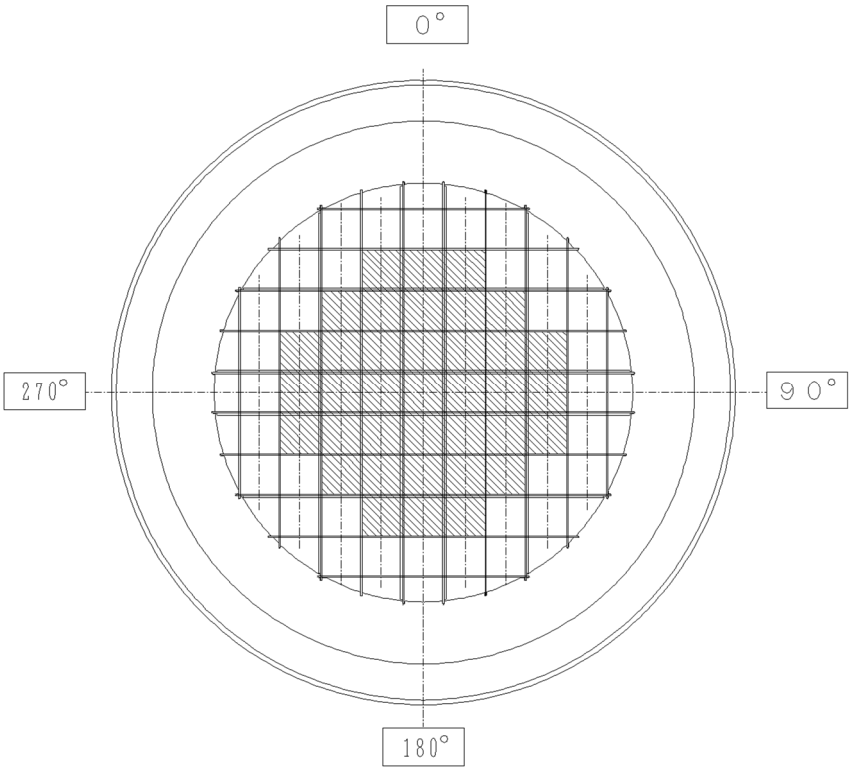
：新型８×８燃料を収納しない範囲（収納する新型８×８ジルコニウムライナ燃料は，燃焼度 34,000MWD/MTU 以下，冷却期間 24 年以上とする）

別添２－３図(2)　使用済燃料集合体の収納配置

（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））

（新型８×８燃料及び新型８×８ジルコニウムライナ燃料を収納する場合）

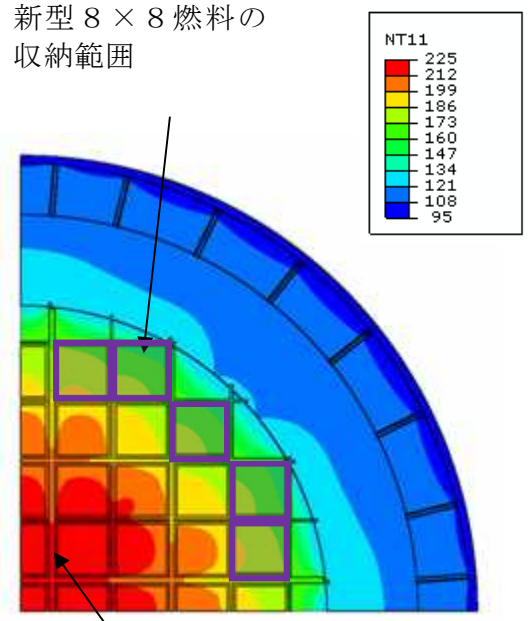
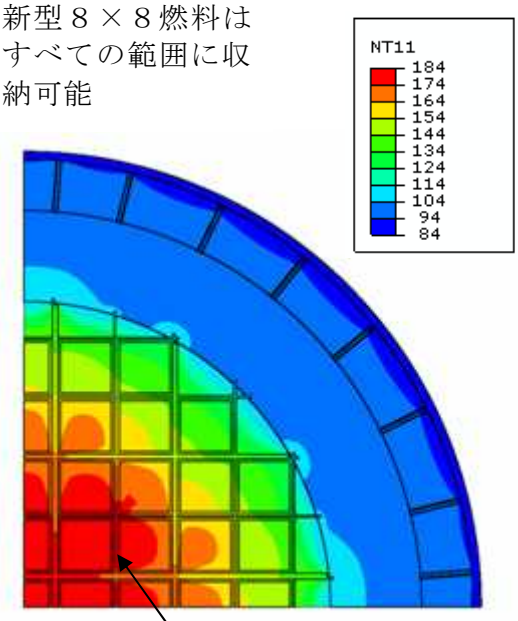
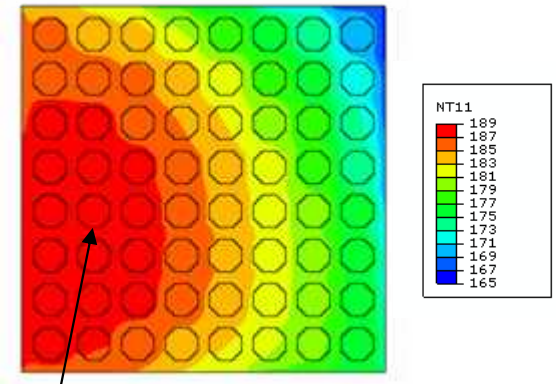
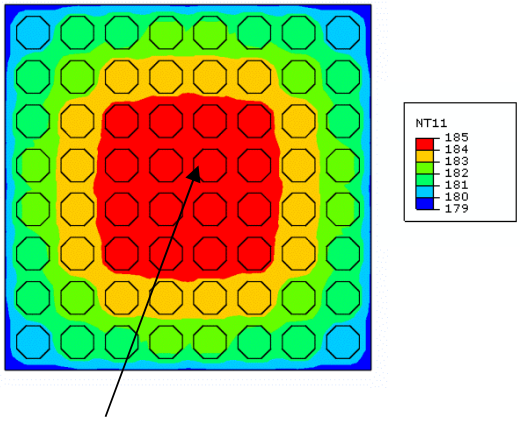
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



：燃焼度 26,000MWD/MTU を超え，燃焼度 28,500MWD/MTU を下回る使用済燃料集合体の収納範囲（平均燃焼度を 26,000MWD/MTU 以下とする）

別添２－３図(3)　使用済燃料集合体の収納配置
（ＢＷＲ用大型キャスク（タイプ２Ａ））
（新型８×８燃料のみを収納する場合）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２－３図(2)の除熱解析結果	別添２－３図(3)の除熱解析結果
新型８×８燃料の収納範囲  バスケット 218℃	新型８×８燃料はすべての範囲に収納可能  バスケット 178℃
新型８×８燃料の収納範囲での最高温度  燃料被覆管（ライナなし） 189℃	 燃料被覆管（ライナなし） 185℃

別添２－３図(4)　別添２－３図(2)及び別添２－３図(3)の収納配置における除熱解析結果

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付

設計で用いる燃料集合体の燃焼度について

1. 「最高燃焼度」及び「平均燃焼度」について

燃料集合体は軸方向の燃焼度分布を有しており，個々の燃料集合体の燃焼度を示す場合は，この軸方向の燃焼度分布から求められる平均の値を燃焼度としている。

「最高燃焼度」及び「平均燃焼度」についても，これら個々の燃料集合体の燃焼度をもとに設定したものである。

(a)「最高燃焼度」については，金属キャスクに収納している全ての燃料集合体それぞれの燃焼度が「最高燃焼度」を超えていないこと，すなわち，個々の燃料集合体の燃焼度の上限値として「最高燃焼度」を設定している。

$$\text{MAX(収納する個々の燃料集合体の燃焼度)} \leqq \text{最高燃焼度}$$

(b)「平均燃焼度」については，金属キャスクに収納している全ての燃料集合体に対する燃焼度の平均値が「平均燃焼度」を超えていないこと，すなわち，キャスク内の全燃料集合体から求められる燃料集合体１体当たりの燃焼度の平均値の上限値として「平均燃焼度」を設定している。

$$\frac{\Sigma \text{ 収納する個々の燃料集合体の燃焼度}}{\text{キャスク内収納燃料集合体数}} \leqq \text{平均燃焼度}$$

2. 設計で用いる燃料集合体の燃焼度について

これら最高燃焼度，平均燃焼度がキャスク本体，使用済燃料貯蔵建屋等の設計解析上どの部分に用いられているかを添付－１表に纏めた。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

添付－１表　設計で用いる燃料集合体の燃焼度について

項　目		除熱評価（発熱量）				遮蔽評価（線源強度）	
		使用済燃料貯蔵建屋	金属キャスク			使用済燃料貯蔵建屋	金属キャスク
燃焼度	PF[*1]		全体モデル	輪切りモデル	燃料集合体モデル		
平均	PF＝１	●					
	考慮		●	●			●
最高	考慮			●	●		●
その他						●[*2]	
解析対象		金属キャスク周囲の空気温度及びコンクリート温度	金属キャスク蓋・底部の部位（金属ガスケット，蓋部中性子遮蔽材等）の温度	金属キャスク中央断面部の部位（バスケット，側部中性子遮蔽材等）の温度	金属キャスク中央断面部の燃料被覆管温度	一般公衆の線量，使用済燃料貯蔵建屋内外の線量	金属キャスク表面と表面から１ｍの線量当量率
モデルの考え方		収納された燃料集合体の合計発熱量が，金属キャスクの最大崩壊熱量（Q）となる。（図１参照）	収納された燃料集合体のPFを考慮した合計発熱量が，金属キャスクの設計崩壊熱量(Q_D)となる。（図２参照）	評価部位の温度を保守的に評価するために，PF最大となる軸方向位置で最高燃焼度燃料を中心部に集中配置。（図３参照）	最大の発熱量（PF最大の最高燃焼度燃料）を設定する。	＊2：敷地境界外の線量が保守的になるように線源強度を設定する。	設けた収納配置の範囲で最大の線源強度を各領域に設定する。（図４参照）

＊1：PF（ピーキングファクタ：燃焼度の偏りの程度を表す）

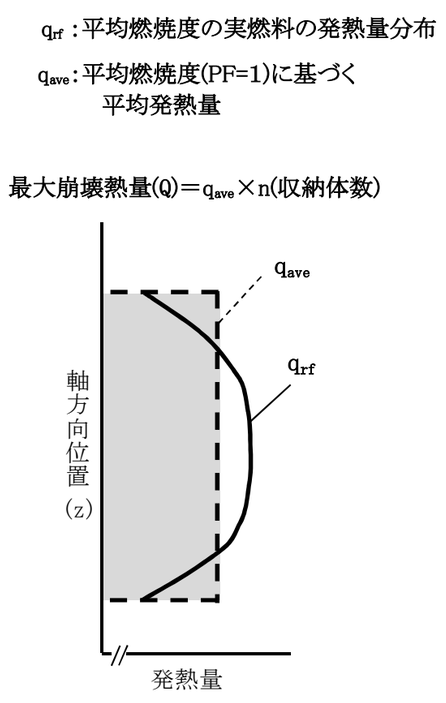


図１　使用済燃料貯蔵建屋の除熱評価における燃料集合体発熱量の概念図

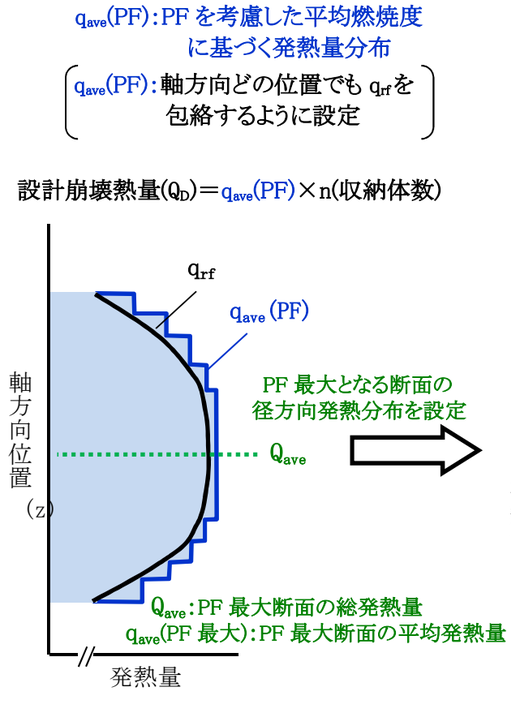


図２　金属キャスクの除熱評価における軸方向発熱量の概念図
（全体モデル：R-Z体系）

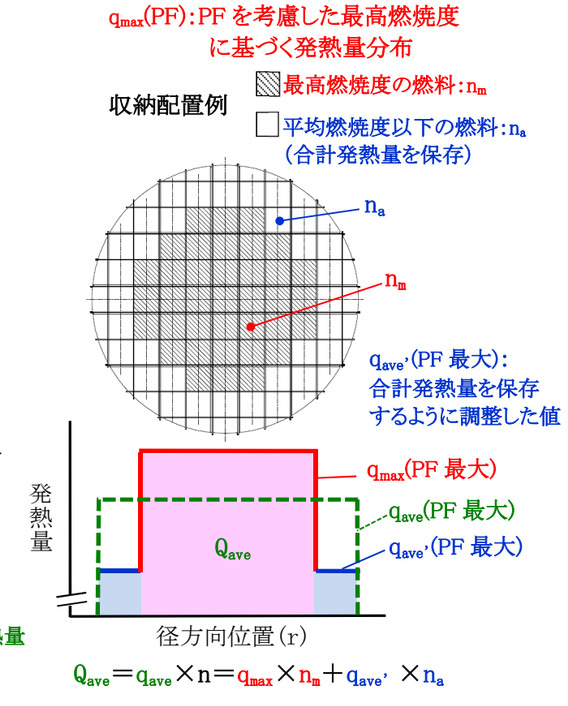


図３　金属キャスクの除熱評価における PF 最大部断面発熱量の概念図
（輪切りモデル）

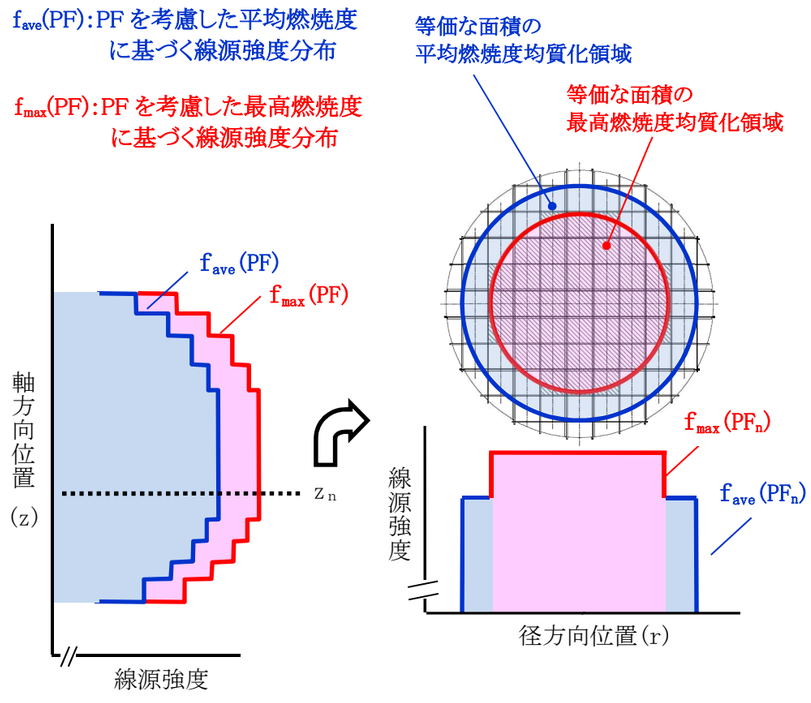


図４　金属キャスクの遮蔽評価における線源強度の概念図
（R-Z体系）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第 6 条　除熱（貯蔵建屋）

＜目　次＞

１．設計方針
２．除熱設計

（別　添）
別添１　使用済燃料貯蔵建屋の除熱設計について
別添２　使用済燃料貯蔵建屋内の定常な空気の流れを想定した三次元熱流動解析について
別添３　給気温度の変化等による除熱評価結果への影響について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるよう，次の方針に基づき設計を行う。

(1)　使用済燃料貯蔵建屋は，金属キャスクの表面からの除熱を維持する観点から，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つことができる設計とする。なお，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度は計測設備等の電気品の性能維持を考慮するとともに，コンクリート温度はコンクリートの基本特性に影響を及ぼさないよう，また構造材としての健全性を維持するよう考慮する。給気口及び排気口は，積雪及び降下火砕物により閉塞しないよう設計する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　除熱設計

(1)　除熱構造

使用済燃料貯蔵建屋は，金属キャスク表面からの除熱を維持する観点から使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つこと及び遮へい機能を担うための健全性を維持することから，以下の設計上の配慮を行う。

a．使用済燃料貯蔵建屋の受入れ区域及び貯蔵区域には，給気口及び排気口を設け,金属キャスク表面から金属キャスク周囲の空気に伝えられた熱を,その熱量に応じて生じる空気の通風力を利用して使用済燃料貯蔵建屋外へ放散できる構造とする。

b．適切な通風力を得るため，貯蔵区域の排気口は地上高さ約 23mに，受入れ区域の排気口は地上高さ約 20mに設ける。

c．給気口及び排気口には，それぞれ温度検出器を配置して使用済燃料貯蔵建屋の給排気温度を測定することにより，除熱機能が維持されていることを監視する。

d．給気口は，むつ特別地域気象観測所の最大積雪量 170cm に対し十分裕度のある，地上高さ約７mに設ける。

e．貯蔵区域において，金属キャスクが設置されていない区画（貯蔵区域を耐火壁，防火扉及び防火シャッタにより６分割した区画）については，夏季に使用済燃料貯蔵建屋内で発生する結露対策として，給気口を閉止する運用とする。

(2)　金属キャスクの配置制限

使用済燃料貯蔵建屋は，貯蔵区域における計測設備等の電気品の性能維持を考慮し，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度が 45℃(汎用電気品が使用可能なように考慮した温度)以下，コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散が生じない温度及び構造材としての健全性を維持するための温度を考慮し，使用済燃料貯蔵建屋のコンクリート温度が 65℃以下[1)]に保たれるよう，片側の給気口から中央の排気口までの金属キャスク配置を１列あたり最大６基とする。

なお，コンクリート温度の基準値は，日本機械学会「発電用原子力設備規格　コンクリート製原子炉格納容器規格」を準用し，コンクリート物性

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

値に大きな影響を与えない温度として設定したものである。上記規格には，次のように示されている。

コンクリートの物性値は，一般にコンクリートの温度が 70℃程度では，コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じないため，養生の進んだコンクリートでは熱による変化は少ないとされている。100℃以下ではコンクリートの圧縮強度等の低下は少ない。

(3) 除熱解析

使用済燃料貯蔵建屋は，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つことができる設計であること及びコンクリート温度をその遮へい能力が損なわれない温度以下に保つことができる設計であることを以下の方法により評価する。

a．伝熱形態

使用済燃料貯蔵建屋における伝熱形態は次の通りである。

(a) 金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱の殆どは，伝導及び対流により金属キャスク周囲の空気へ伝えられるが，一部は，輻射及び貯蔵架台を介しての伝導により使用済燃料貯蔵建屋へ伝えられる。

(b) 使用済燃料貯蔵建屋へ伝わった熱は，躯体の伝導及び対流により外部（大気あるいは地中）に放出されるか，あるいは伝導及び対流により使用済燃料貯蔵建屋内空気に伝わり，自然換気により大気に放出される。

b．評価方法

上記伝熱形態を踏まえ，使用済燃料貯蔵建屋の除熱評価においては，使用済燃料貯蔵建屋及び金属キャスクを一次元又は三次元で適切にモデル化し，一次元熱計算により使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を，三次元熱流動解析コードＦＬＵＥＮＴ6.2 を用いて使用済燃料貯蔵建屋のコンクリート温度を評価する。

使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度の評価に当たっては，使用済燃料集合体の崩壊熱が全て金属キャスク周囲の空気に伝わるよう設定し，使用済燃料貯蔵建屋コンクリート温度の評価に当たっては，使用済燃料貯蔵建屋外壁を断熱とする。

使用済燃料貯蔵建屋の除熱評価フローを第１図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(a)　一次元熱計算

金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱のすべてが周囲空気に移行するものとして使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を算出する(第２図参照)。

ここで，評価条件は以下のとおりとする。なお，ここで記載以外の評価方法を別添１に示す。

・評価領域，流路設定及び考慮する圧力損失要素

金属キャスク 12 基（６基/列×２列）を含む，給気口から排気口までの領域。第３図～第５図参照

・金属キャスク発熱量

評価領域における金属キャスクの総発熱量として 145.2kW（１列あたり 72.6kW）に設定

・金属キャスク寸法

（直径）2.482ｍ×（高さ）5.320ｍの円柱形状で模擬

・設計給気温度

29.5℃一定(むつ特別地域気象観測所の 2004 年～2013 年の夏季(６月～９月）毎正時温度データを用いて，高温側から１％の値（超過危険率１％）

なお，むつ特別地域気象観測所の観測記録（1981 年～2010 年）によれば，最高気温の平均は８月の場合 25.7℃，年間の場合 13.7℃，平均気温は８月の場合 21.7℃，年間の場合 9.5℃である。

(b)　三次元熱流動解析

第６図に示した伝熱形態を模擬するため，三次元熱流動解析コードＦＬＵＥＮＴ6.2 を用いて，伝導，対流，輻射が共存する場の支配方程式を解き使用済燃料貯蔵建屋躯体温度を評価する。

ここで，評価条件を以下のとおりとする。なお，ここで記載以外の評価方法を別添１に，また，使用済燃料貯蔵建屋内の定常な空気の流れを想定していることについての補足を別添２に示す。

・金属キャスク 12 基（６基/列×２列）を含む，給気口から排気口までの領域とし，使用済燃料貯蔵建屋躯体として貯蔵部の側壁，垂れ壁，

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

天井，柱，仕切り壁，基礎スラブ及び排気塔部まで，設置物として給気部設置給電盤，プルボックス類，ケーブルトレイ類等を模擬（第７図，第８図参照)。また，貯蔵区域の壁面(支柱，耐震壁，給気口側壁面)は，床面より高さ 1.6ｍまで帯状に緑色のエポキシ塗装が施されており，床面およびそれ以外の部位はコンクリート表面である。

・使用済燃料貯蔵建屋外表面及び排気塔部の躯体の外表面は，コンクリート表面から外気への放熱が無いよう，断熱条件に設定（第７図，第８図参照）

・金属キャスクは，（直径）2.482ｍ×（高さ）5.320ｍの円柱形状で模擬

・金属キャスクの発熱は，12.1kW/基×６基×２列（第９図参照），全表面（上面，側面，底面）一様な熱流束を付与するとともに，評価に於いては，金属キャスクと貯蔵架台並びに貯蔵架台と床との間は完全接触しているものとして評価

・設計給気温度は，29.5℃一定

・使用済燃料貯蔵建屋基礎スラブ下端の温度は 12℃（施設建設地点での地表-2.83ｍにおける 2006 年６月～９月の毎正時温度データの最大値）一定

一次元熱計算と三次元熱流動解析における主な評価条件を第１表にまとめて示す。

(4)　除熱解析結果

除熱解析の結果，一次元熱計算においては，排気温度は 40.0℃，また，三次元熱流動解析においては，躯体温度の最高は床で 56.9℃となり，貯蔵区域の片側の給気口から中央の排気口までの金属キャスク配置を１列あたり最大６基とした金属キャスクの合計発熱量を 72.6kW とすることで，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度は 45℃以下，コンクリート温度は 65℃以下に保つことができる。

一次元熱計算による排気温度を第２表に，三次元熱流動解析による躯体温度の最高値を第３表，躯体の温度分布を第 10 図～第 14 図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

また，第４表に一次元熱計算と三次元熱流動解析による排気温度及び空気流量の比較を示す。輻射の影響を考慮していない一次元熱計算の排気温度は，輻射の影響を考慮した三次元熱流動解析の排気温度より高くなり，より安全側の評価となっている。

なお，使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析では，給気温度を 29.5℃一定とした条件を設定しており，仮に，29.5℃を超えるような状態となった場合でも，１日の平均気温が 29.5℃を超えるような状況は想定されず，また，金属キャスクの熱容量が大きいことを考慮すると，給気温度の上昇による影響は限定的である。給気温度の設定の考え方等，その他の除熱評価についての補足を別添３に示す。

参考文献

1) 社団法人 日本機械学会，発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（JSME S NE1-2003），2003 年

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第１表　使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析条件

	一次元熱計算	三次元熱流動解析
基準温度	45℃（使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度）	65℃（使用済燃料貯蔵建屋のコンクリート温度）
評価領域	貯蔵区域における給気口から排気口まで（領域内には金属キャスク 12 基（1 列当たり 6 基）を含む）	
伝熱形態	伝熱形態を区別せず，金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱のすべてが周囲空気に移行するものと想定	金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱が，伝導／対流／輻射により，使用済燃料貯蔵建屋コンクリートに伝えられるものと想定
設計給気温度	29.5℃（むつ特別地域気象観測所の 2004 年～2013 年の夏季（６月～９月）毎正時温度データを用いて，高温側から１％の値（超過危険率１％））	
金属キャスク発熱量	評価領域において 145.2kW（1 列あたり 72.6kW）	1 基当たり 12.1kW
金属キャスク寸法	（全長）5.320m （高さ）2.482m	

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第２表　一次元熱計算による使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度評価結果

評価対象	評価温度	設計基準温度
使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度	40.0℃	45℃

第３表　三次元熱流動解析による使用済燃料貯蔵建屋コンクリート温度の評価結果（最高値）

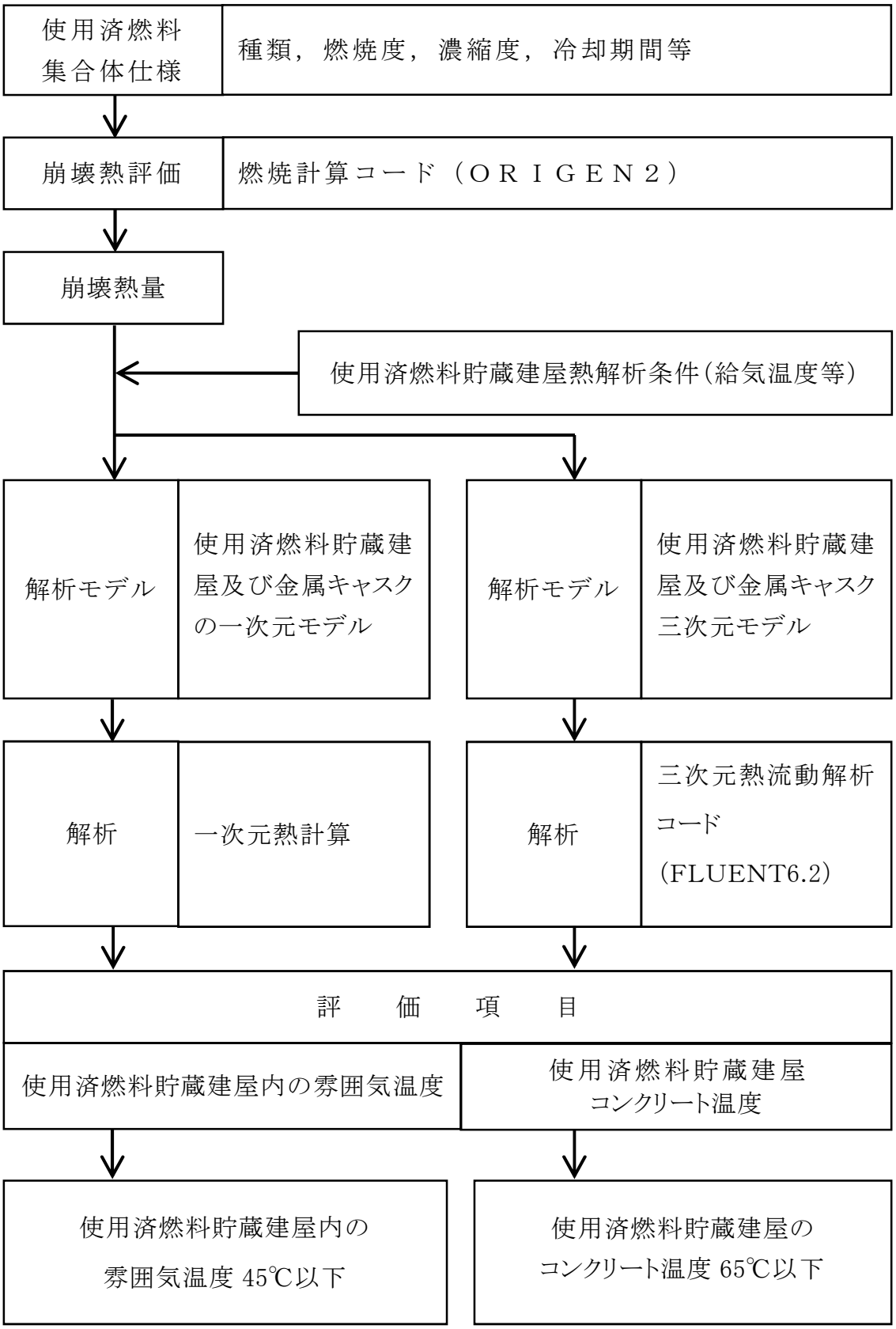
評価部位	評価温度（最高値）	設計基準温度
側壁	52.7℃	65℃
支柱	54.4℃	
床	56.9℃	
天井（梁除く）	54.5℃	
天井梁	55.6℃	

第４表　一次元熱計算と三次元熱流動解析の比較

	一次元熱計算注 1)	三次元熱流動解析
排気温度	40.0℃	38.3℃
空気流量	14.0kg/s	16.0kg/s

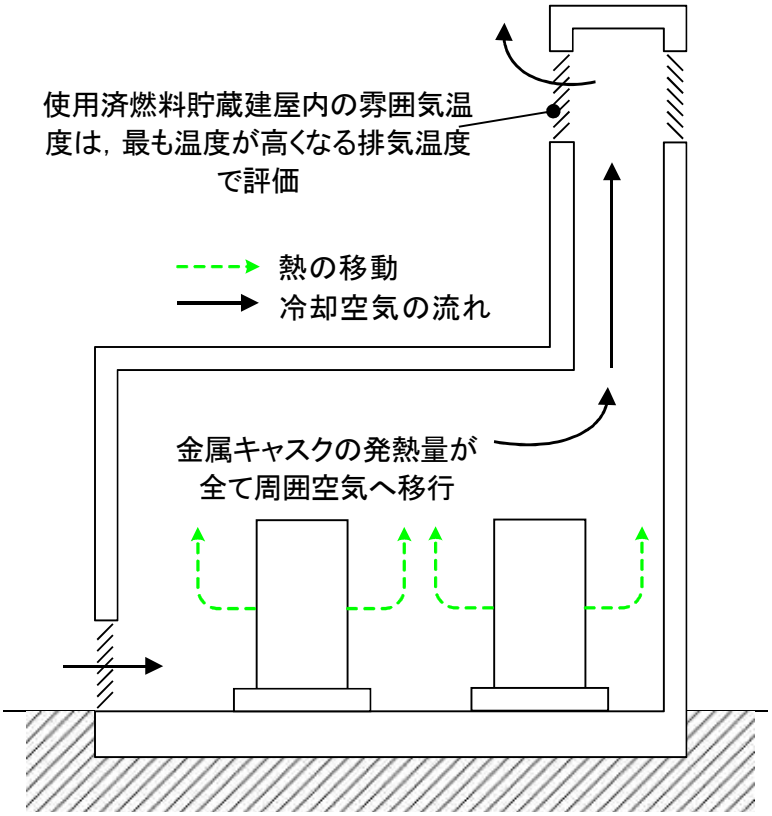
注 1）一次元熱計算は，三次元熱流動解析との比較から１列あたり（金属キャスク６基）の総発熱量を 72.6kW としたときの排気温度及び空気流量

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



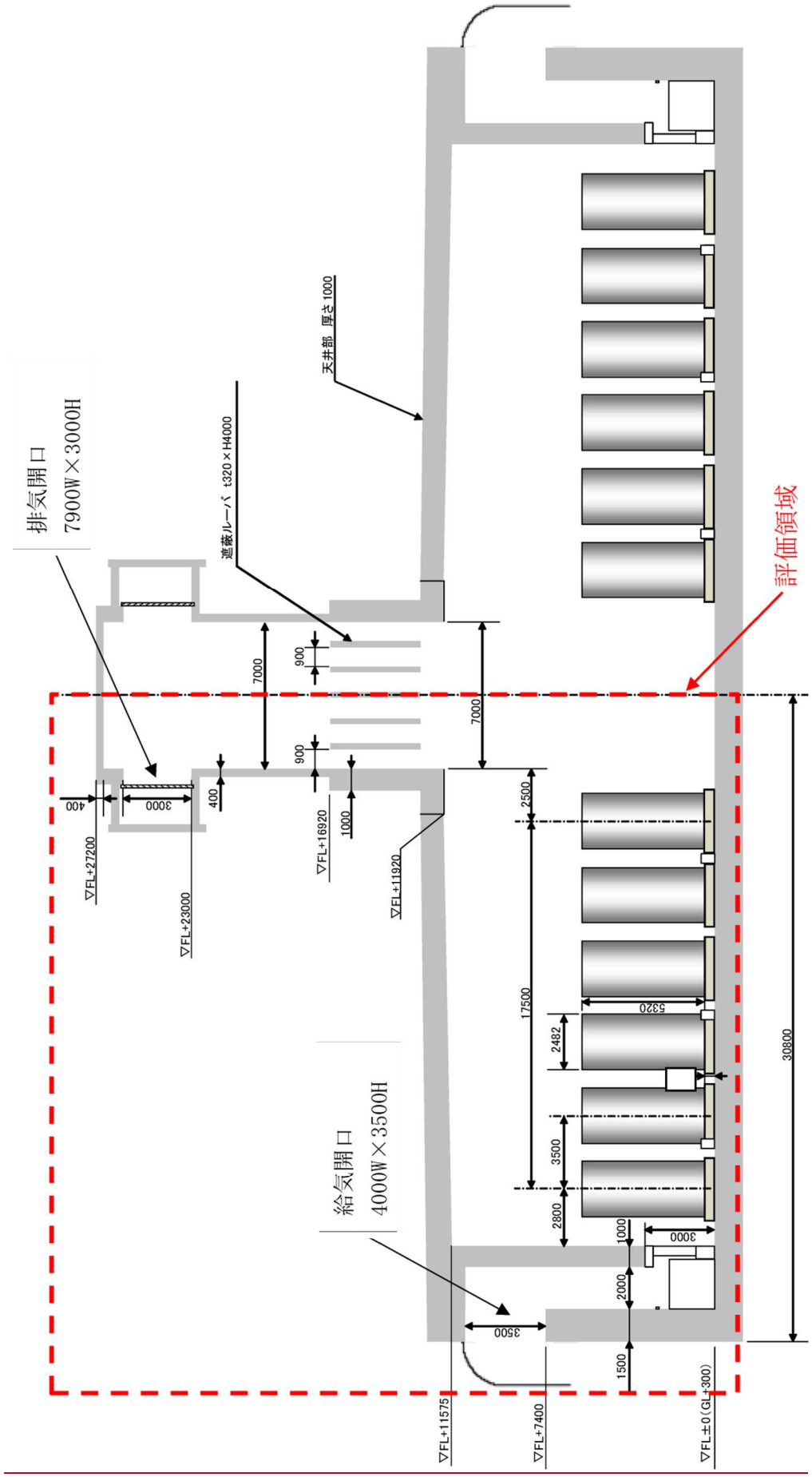
第１図　使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析フロー図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第２図　一次元熱計算における使用済燃料貯蔵建屋の伝熱形態

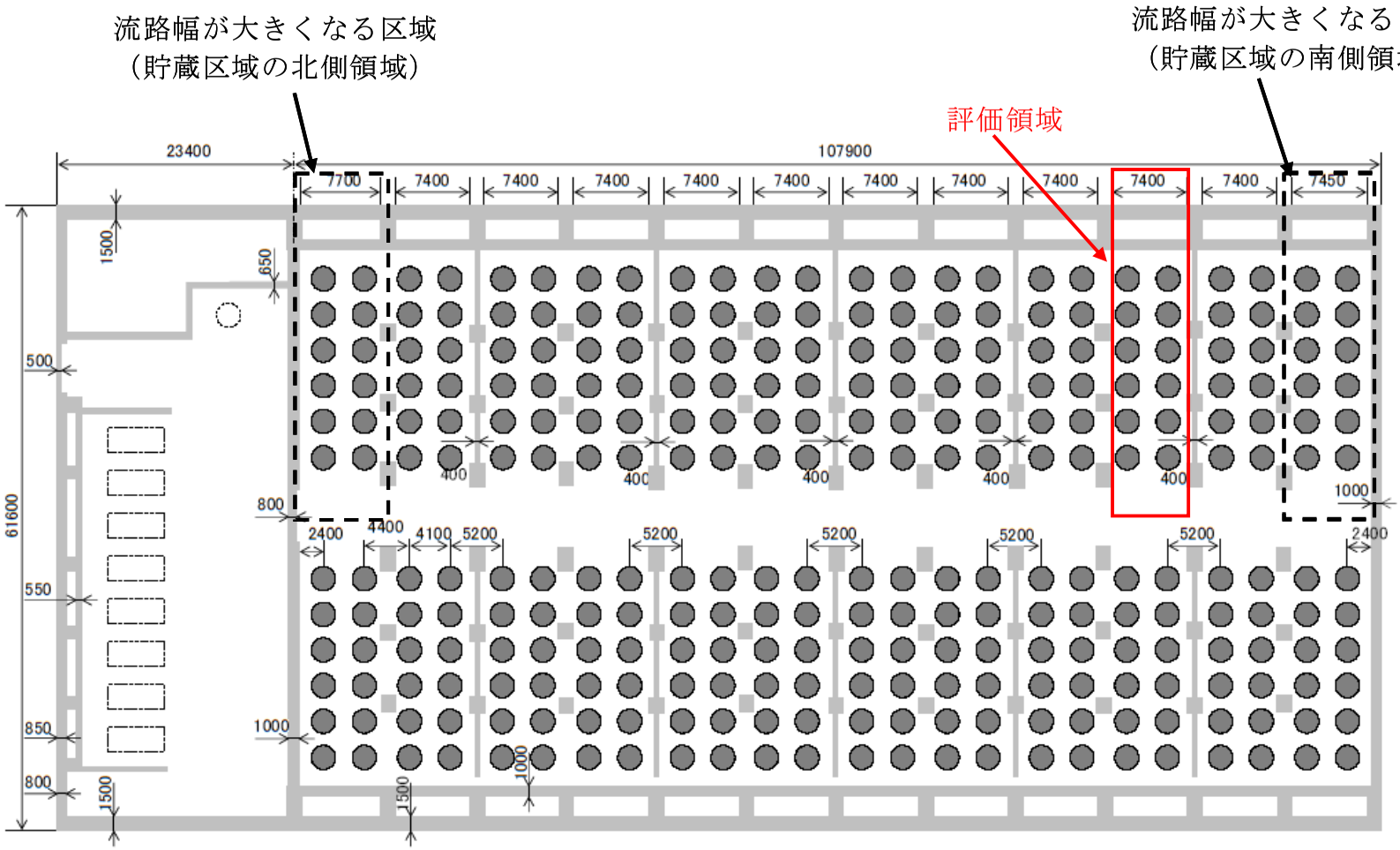
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第３図　一次元熱計算における評価領域（使用済燃料貯蔵建屋断面）

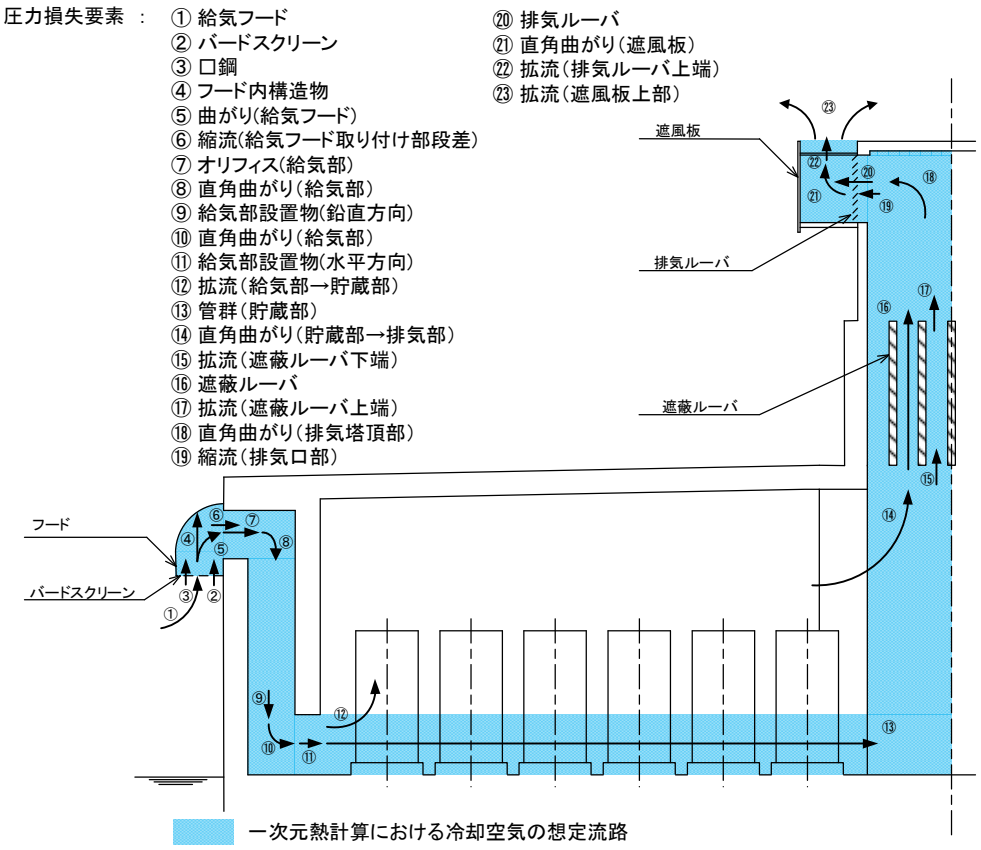
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

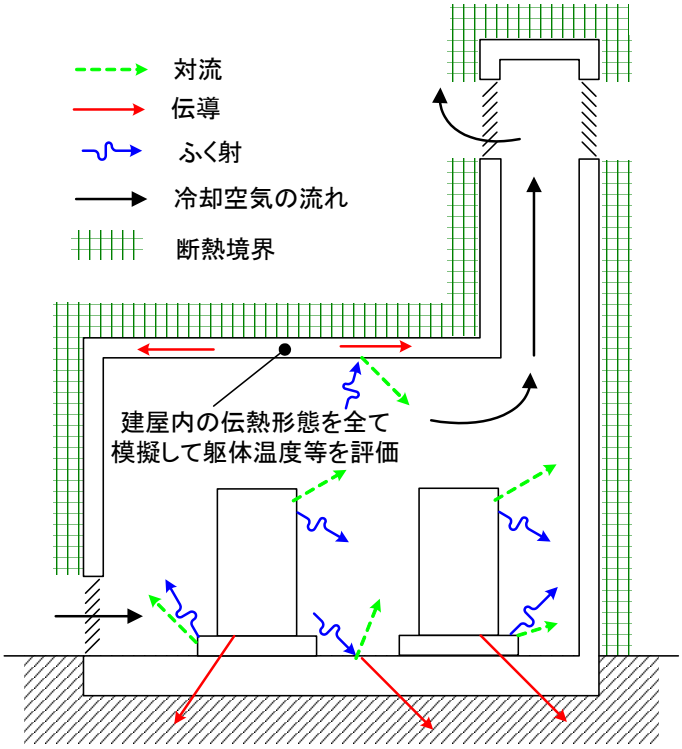


※貯蔵区域の給気口から排気口への流路形状は，一部区域（貯蔵区域の北側領域と南側領域）を除き同様であるが，冷却空気の流れを阻害する盤等の設置物の設置状況は異なる。一部区域（貯蔵区域の北側領域と南側領域）は，評価領域と比較して流路幅が大きく，設置物の設置状況も他の区域と同様の設置状況であるため，設置物が流路に対して占める割合が大きい評価領域を選定。

第４図　一次元熱計算における評価領域（使用済燃料貯蔵建屋平面）

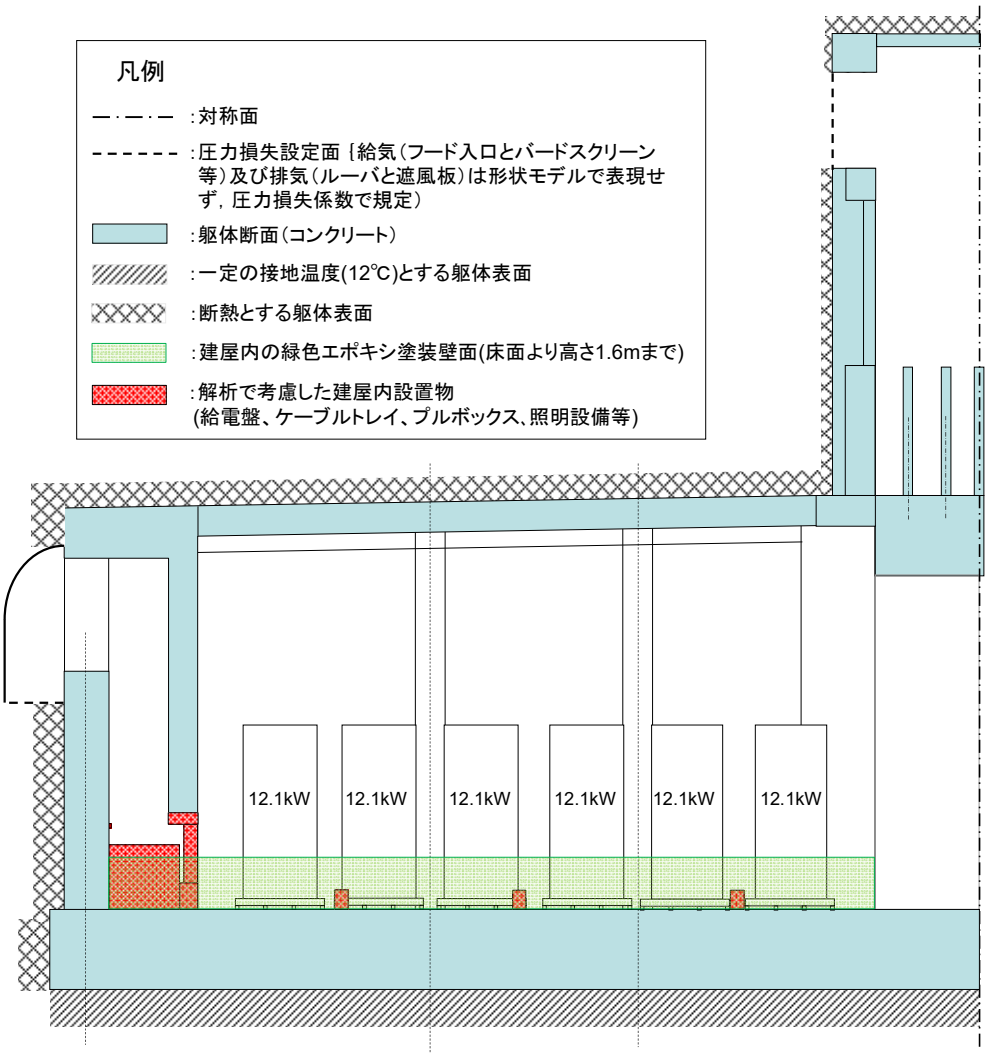


第５図　一次元熱計算における流路設定及び考慮する圧力損失要素



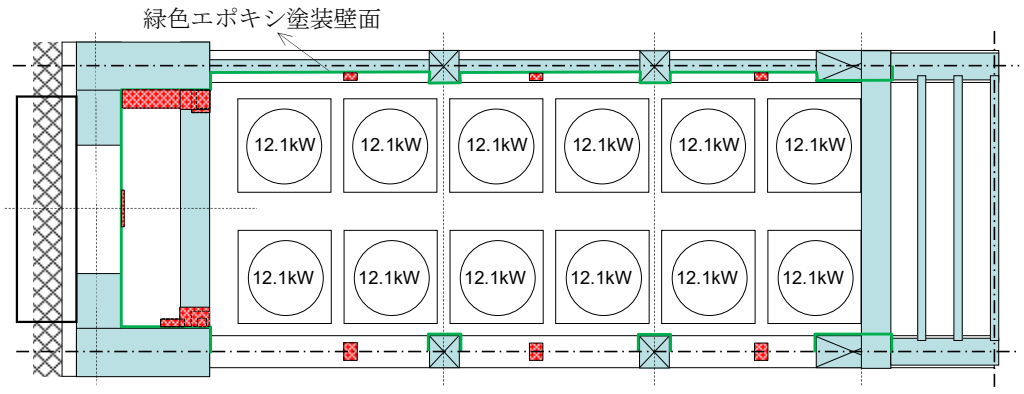
第６図　使用済燃料貯蔵建屋の伝熱形態

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第７図　三次元熱流動解析の評価領域及び評価モデル

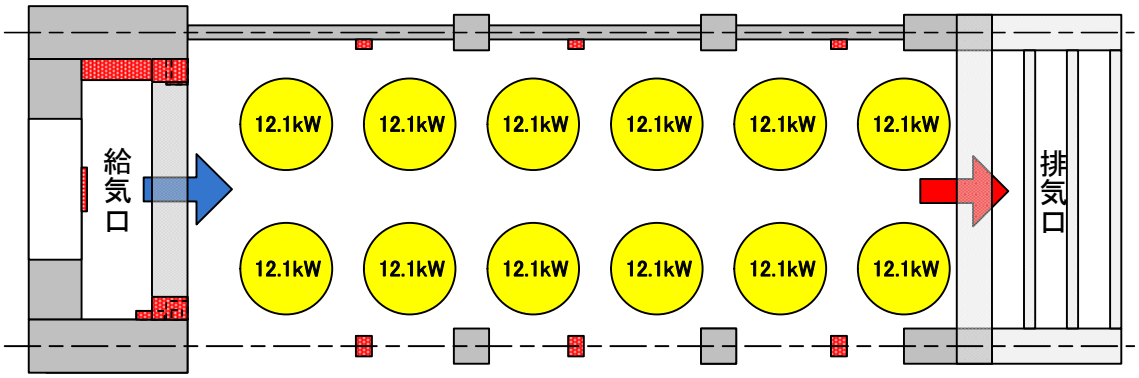
（使用済燃料貯蔵建屋断面）



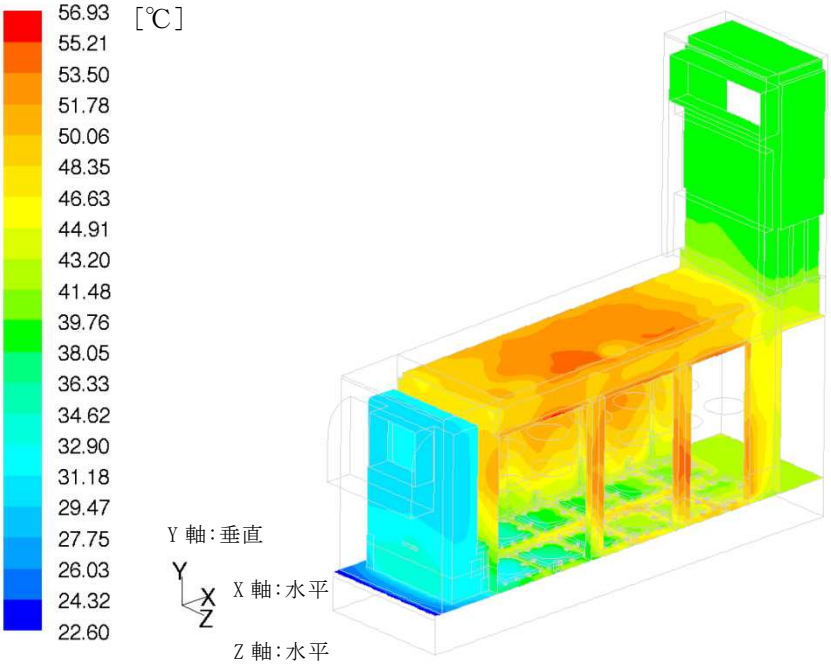
第８図　三次元熱流動解析の評価領域及び評価モデル

（使用済燃料貯蔵建屋平面）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

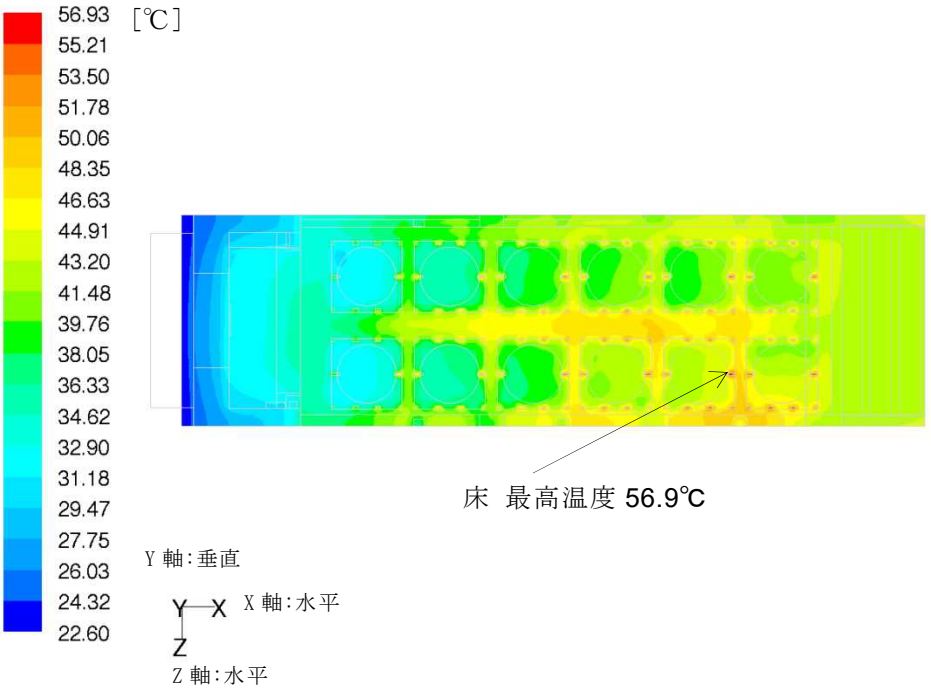


第９図　三次元熱流動解析で用いた金属キャスクの発熱量

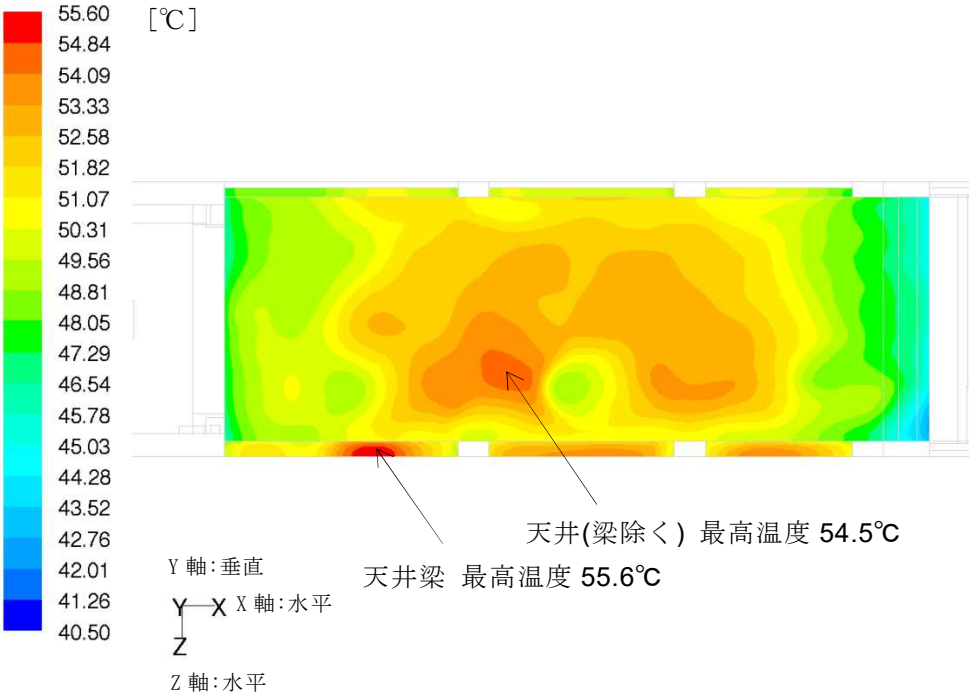


第 10 図　躯体全体（床・側壁・天井・支柱）表面温度分布

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

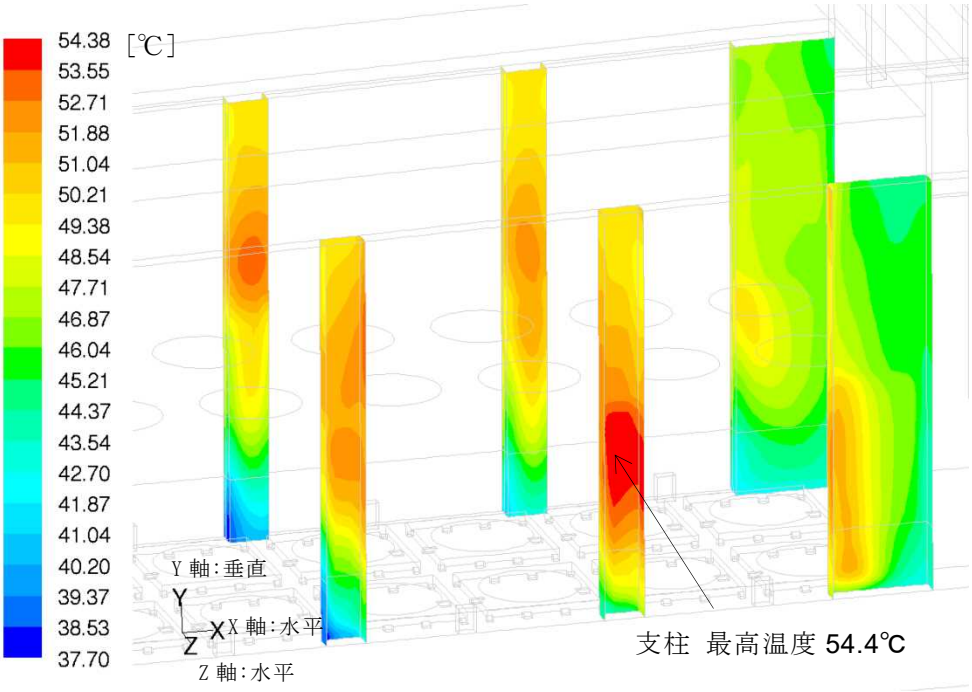


第 11 図　床表面温度分布

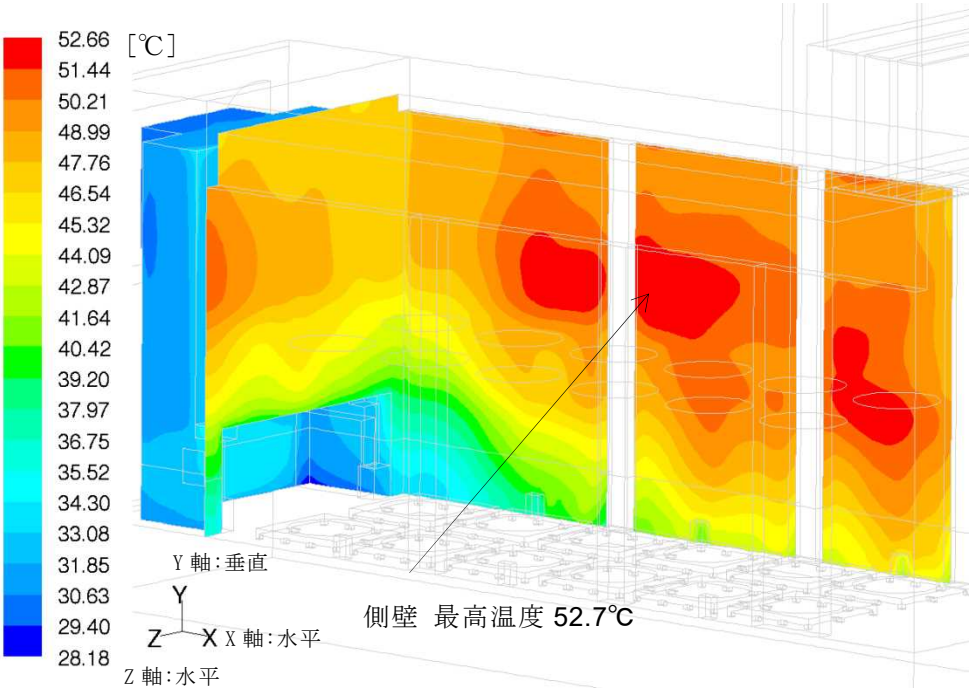


第 12 図　天井表面温度分布

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第 13 図　支柱表面温度分布



第 14 図　側壁・入口壁表面温度分布

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

使用済燃料貯蔵建屋の除熱設計について

1.　一次元熱計算の除熱評価方法

一次元熱計算による評価では，使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を使用済燃料貯蔵建屋内で最も高くなる排気温度で代表する。

排気温度は，冷却方式と使用済燃料貯蔵建屋形状等から定まる換気流量で崩壊熱を除去するときの温度上昇を設計給気温度に加えることにより求まる（一次元熱評価）。

換気流量（使用済燃料貯蔵建屋内に流入する冷却空気流量）は，使用済燃料貯蔵建屋内の発熱を除去するために必要な流量 W_1［式(1)］と，ドラフト力（通風力）及び圧力損失から求まる流量 W_2［式(2)］とのバランス点により定まる。このバランス点を求めるため，排気温度（T_{out}）を仮定することにより W_1 と W_2 を計算し，W_1=W_2 となる排気温度を繰り返し計算により求める。

排気温度と空気流量のバランスを別添１－１図に示す。

また，使用済燃料貯蔵建屋の流路における圧力損失係数及び流路面積は別添１－１表のとおりとなる。

$$W_1 = \frac{Q}{C_p\left(T_{out} - T_{in}\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\

Q：発熱量(W)

W：空気の質量流量(kg/s)

C_p: 比熱$(J/kg/K)$

T_{out}: 排気温度(K)

T_{in}: 給気温度(K)

t_i: 場所ｉにおける空気温度(℃)

H：ドラフト高さ(m)

ρ_{in}: 入口空気密度(kg/m^3)

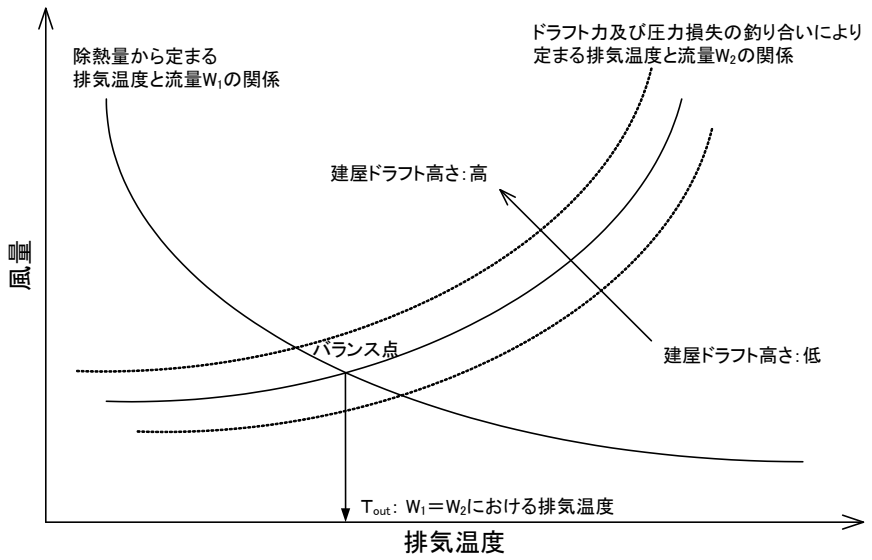
ρ_{out}: 出口空気密度(kg/m^3)

ρ_i: 場所ｉにおける空気密度(kg/m^3)

g：重力加速度(m/s^2)

ζ_i: 圧力損失要素ｉにおける圧力損失係数

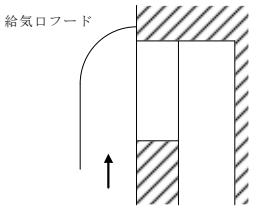
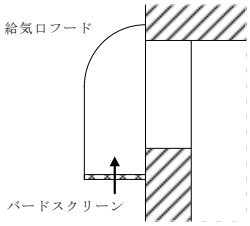
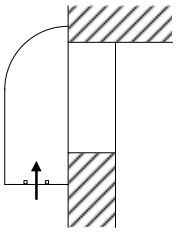
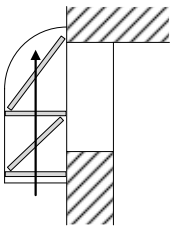
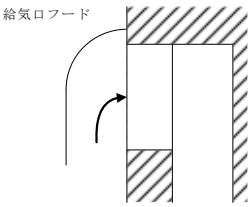
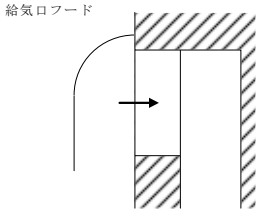
A_i: 圧力損失要素ｉにおける流路断面積(m^2)



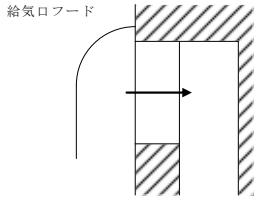
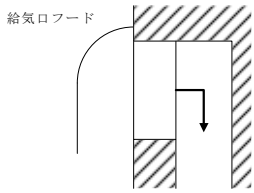
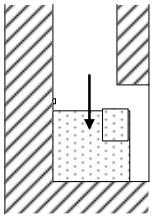
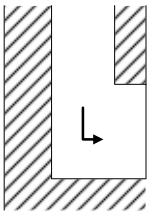
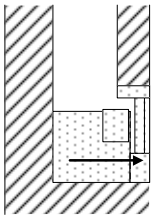
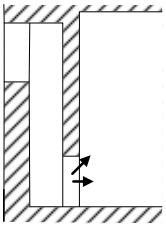
別添１－１図　一次元熱計算における排気温度と空気流量のバランス関係

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

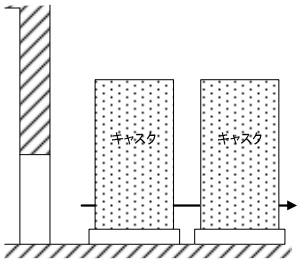
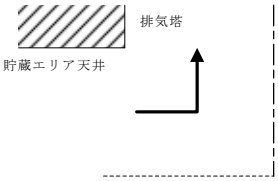
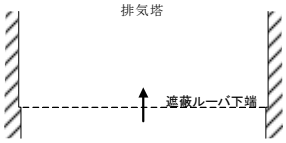
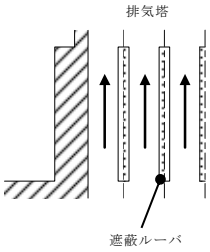
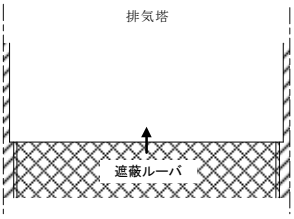
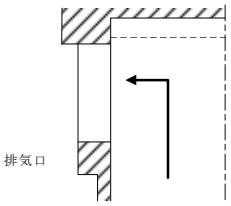
別添１－１表　流路の圧力損失係数及び流路面積

No.	流路の形状	部位名称	流路面積 A_i (m^2)	圧損係数 ζ_i	$\frac{\zeta_i}{A_i^2}$ (m^{-4})	圧損係数の出展
①		フード（給気口）	13.2	0.97	0.0056	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
②		バード スクリーン	13.2	0.32	0.0018	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
③		□鋼	13.2	0.38	0.0022	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
④		フード内 構造物	13.2	0.16	0.00092	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑤		曲がり (給気フード)	13.2	0.54	0.0031	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑥		縮流 （給気フード 取り付け部 段差）	14.0	0.052	0.00027	技術資料 管路・ダクトの 流体抵抗 (JSME)

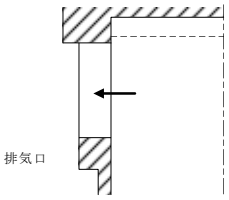
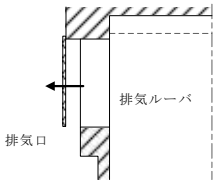
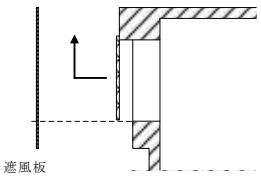
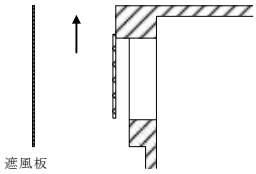
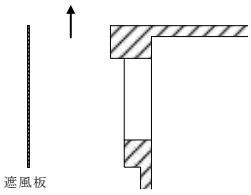
無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

No.	流路の形状	部位名称	流路面積 A_i(m²)	圧損係数 ζ_i	$\frac{\zeta_i}{A_i^2}$(m⁻⁴)	圧損係数の出展
⑦		オリフィス（給気部）	25.9	3.2	0.0048	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑧		直角曲がり（給気部）	25.9	1.9	0.0028	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑨		給気部設置物（鉛直方向）	14.8	0.086	0.00039	技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 (JSME)
⑩		直角曲がり（給気部→貯蔵部）	14.8	2.3	0.011	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑪		給気部設置物（水平方向）	22.2	0.040	0.000081	技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 (JSME)
⑫		拡流（給気部→貯蔵部）	22.2	1.2	0.0024	技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 (JSME)

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

No.	流路の形状	部位名称	流路面積 A_i(m²)	圧損係数 ζ_i	$\frac{\zeta_i}{A_i^2}$(m⁻⁴)	圧損係数の出展
⑬ ※		管群（貯蔵部）	8.46	1.6	0.022	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑭		直角曲がり（貯蔵部→排気部）	23.7	1.1	0.0020	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑮		拡流（遮蔽ルーバ下端）	27.7	0.00040	5.2×10^{-7}	技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 (JSME)
⑯		遮蔽ルーバ	28.2	1.1	0.0014	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
⑰		拡流（遮蔽ルーバ上端）	28.2	0.0032	4.0×10^{-6}	技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 (JSME)
⑱		直角曲がり（排気塔頂部）	29.8	1.3	0.0015	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

No.	流路の形状	部位名称	流路面積 A_i (m^2)	圧損係数 ζ_i	$\frac{\zeta_i}{A_i^2}$ (m^{-4})	圧損係数の出展
⑲		縮流 (排気口部)	23.7	0.13	0.00023	技術資料 管路・ダクトの 流体抵抗 (JSME)
⑳		排気ルーバ	23.7	5.4	0.0096	排気ルーバ 通気性能試験 結果
㉑		直角曲がり (遮風板)	23.7	2.1	0.0037	Handbook of Hydraulic Resistance 3rd Edition
㉒		拡流 (排気ルーバ上端)	22.9	0.0013	2.5×10^{-6}	技術資料 管路・ダクトの 流体抵抗 (JSME)
㉓		拡流 (遮風板上部)	23.7	1.2	0.0021	技術資料 管路・ダクトの 流体抵抗 (JSME)

※⑪に関する補足の説明を添付１に示す。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

2.　三次元熱流動解析による除熱評価方法

使用済燃料貯蔵建屋内の伝熱形態を模擬するため，三次元熱流動解析コードＦＬＵＥＮＴを用いて，伝導，対流，輻射が共存する場の支配方程式を解き使用済燃料貯蔵建屋躯体温度を評価する。

評価条件のうち，本文記載以外については下記のとおりとする。

(1)　圧力損失の模擬について

給気フード入口と給気バードスクリーン，口鋼，フード内構造物，排気ルーバ及び遮風板部（遮風板部直角曲がり，排気ルーバ上端の拡流，遮風板上部の拡流）は形状モデルで表現せず，圧力損失係数で規定する。(別添１－１表参照)

(2)　三次元熱流動解析における詳細解析条件

○　使用解析コード

メッシュ作成プログラム：Gambit Ver2.3

三次元熱流動解析：ＦＬＵＥＮＴ Ver.6.2

○　乱流モデル及び浮力の考慮

乱流モデルは標準ｋ－εモデルとし，浮力の取扱は空気の熱膨張による密度変化を体積力のみに考慮するBoussinesq近似を用いる。

○　輻射の解法等

輻射強度の輸送方程式を解くDiscrete Ordinate法とする。

また，固体表面は灰色体を仮定する。

○　計算格子

評価領域の計算格子を別添１－２図～別添１－３図に示す。格子数は［　　］となる。

○　物性値等

空気：伝熱工学資料第4版より29.5℃（302.65[K]），1気圧の物性値を採用。

粘性率：18.76［μPa･s］

比熱：1.007［kJ/kg/K］

プラントル数　　：0.717

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

密度：1.1665［kg/m^3］

熱伝導率：26.33［mW/m/K］

体積膨張率：1/302.65［1/K］

重力加速度：-9.80665［m/s^2］

貯蔵架台：密度，比熱，熱伝導率は伝熱工学資料第4版機械構造用炭素鋼S35Cを適用。放射率は伝熱工学資料第4版の白色塗装面の放射率及び「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物　輸送容器の安全設計及び検査基準：2006」のステンレス鋼SUS304（研磨面）の放射率より設定。

密度：7850〔kg/m^3〕

比熱：0.465〔kJ/kg/K〕

熱伝導率：43.0〔W/m/K〕

表面放射率：0.8（貯蔵架台上面／側面：塗装面）

：0.15(貯蔵架台下面：ステンレス鋼)

コンクリート：密度，比熱，熱伝導率は伝熱工学資料第4版より石灰岩コンクリート，293［K］の物性値を採用。表面放射率は伝熱工学資料第4版コンクリート（常温）の値採用。

密度：2400〔kg/m^3〕

比熱：0.90〔kJ/kg/K〕

熱伝導率λ：1.2〔W/m/K〕

表面放射率：0.94

ただし，貯蔵区域の壁面（支柱，耐震壁，給気口側壁面）に床面より高さ 1.6mまで帯状にエポキシ塗装が為されている部位の表面放射率は，伝熱工学資料第4版の緑色塗装面（常温）の放射率より設定。

表面放射率：0.85

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

キャスク（表面放射率のみ）：伝熱工学資料第4版の白色塗装面（常温）の放射率より設定。

表面放射率：0.8

設置物（表面放射率のみ）

・照明設備：伝熱工学資料第4版の白色塗装面（常温）の放射率より設定。

表面放射率：0.8

・圧力変換器給電盤：伝熱工学資料第4版の白色塗装面（常温）の放射率より設定。

表面放射率：0.8

・安定器収容盤：伝熱工学資料第4版の白色塗装面（常温）の放射率より設定。

表面放射率：0.8

・ケーブルトレイ(大)：Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edの亜鉛めっき表面(灰色)(常温)の放射率より設定。

表面放射率：0.3

・プルボックス(大)：Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edの亜鉛めっき表面(灰色)(常温)の放射率より設定。

表面放射率：0.3

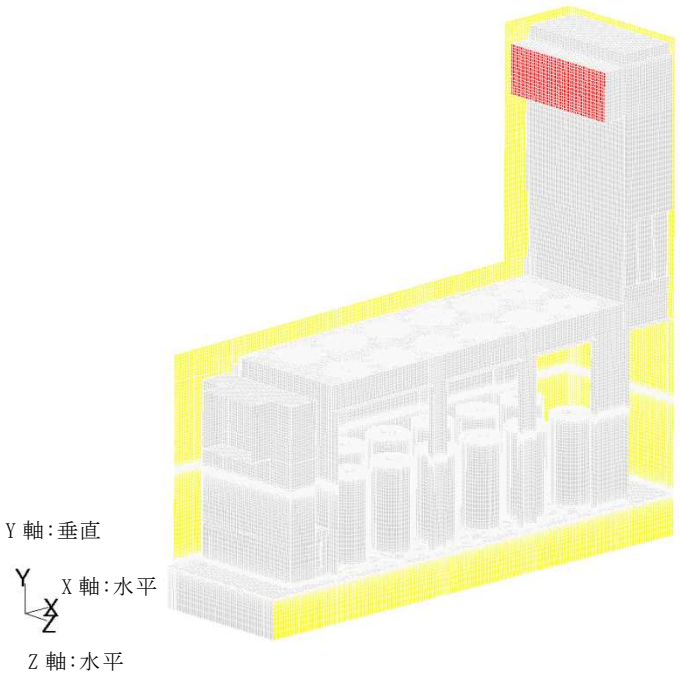
・ケーブルトレイ(小)：Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edの亜鉛めっき表面(灰色)(常温)の放射率より設定。

表面放射率：0.3

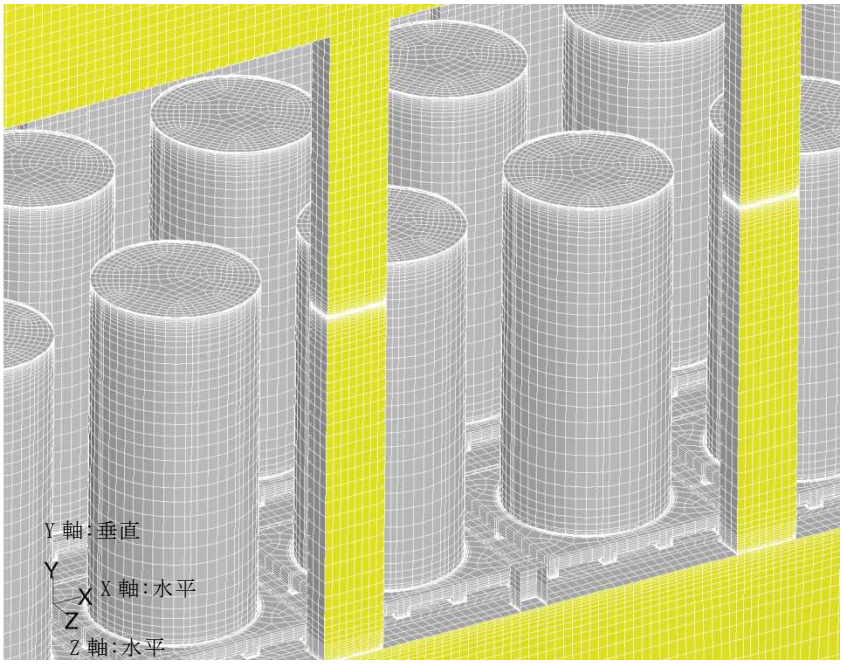
・プルボックス(小)：Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edの亜鉛めっき表面(灰色)(常温)の放射率より設定。

表面放射率：0.3

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－２図　三次元熱流動解析における計算格子



別添１－３図　三次元熱流動解析における計算格子
（金属キャスク及び貯蔵架台）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3. ＦＬＵＥＮＴの検証

(1) 概要

ＦＬＵＥＮＴは米国の企業により開発され，非圧縮性流れから低圧縮性流れ，高圧縮性流れまで取り扱うことのできる汎用熱流動解析コードである。米国を中心に熱流動解析のスタンダードコードとして扱われており，国際的にも導入実績が多いコードである。原子力分野でも米国の安全審査等で多くの実績を有しており，米国の使用済燃料中間貯蔵施設や発電所内貯蔵施設の安全審査におけるコンクリートキャスクの熱流動解析においても利用されている。

そこで，東京電力(株)において電力中央研究所に委託して実施したスタック方式の施設に係る除熱実証試験[1)]を対象とし，ＦＬＵＥＮＴの妥当性確認解析を実施した。

以下では，その除熱実証試験の概要と妥当性確認解析の概要を示す。

(2) 除熱実証試験概要

a．試験装置

(a) 貯蔵部及び給排気部（別添１－４図～別添１－６図参照）

- 試験装置は,貯蔵部と給排気部を 1/5 スケールモデルで模擬したものであり,装置内には 4 行×6 列の計 24 基の模擬キャスクを 800㎜ ピッチの正方形配列で配置
- 天井高さが熱流動特性に及ぼす影響を評価するため,貯蔵部の天井は上下に可動可能
- 試験装置からの放熱を低減するため,側壁や床面及び天井面には断熱材を充填
- 可視化のため貯蔵部の内壁を黒色に塗装
- スタックは開閉式とし，スタックが開かれている場合には，自然対流条件での試験（以下「自然通風試験」という）が可能。また，閉じた場合には，スタック端に回転数を制御可能なファンを接続し，強制対流状態での試験が可能

(b) 模擬キャスク（別添１－７図参照）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

・ 模擬キャスクは，外形φ500mm×1,100mm で，発熱能力は 0～2kW/体
・ 表面からの発熱を等熱流速条件とするため，SUS 製の円筒内面にラバーヒータ(絶縁機能をもつシリコンシートに帯状ヒータをエッチングした電気式ヒータ）を貼り付け
・ 熱輻射を防ぐため外表面はバフ＃600 相当の鏡面仕上げとし，模擬キャスク内部で対流伝熱が起きないように内部にロックウールを充填

(c) 計測装置及び計測位置（別添１－８図参照）
・ 模擬キャスク埋込熱電対
・ 貯蔵部温度計測用ツリー熱電対
・ 熱電対付きの風速計

b．試験内容

はじめに予備試験を行い,貯蔵部の天井高さを 1.6m,2.3m,3.0m として，貯蔵部内の熱流動特性等を評価し，貯蔵部の天井高さを選定する。

予備試験の結果に基づき天井高さが決定された後，本試験を行う。本試験では Ri 数を実規模相当施設と一致させた試験を行い,貯蔵部の温度分布,速度分布を測定する。

(3) 妥当性確認解析の概要

a．解析条件

主な解析条件を以下に示す。

○ 解析コード：ＦＬＵＥＮＴ Ver.6.1
○ 輻射の考慮：なし（実証試験では模擬キャスクの輻射を低減するため，表面を鏡面仕上げとしている）
○ 乱流モデル：κ－ε モデル
κ（乱流エネルギー）と ε（乱流消散率）の輸送方程式から乱流粘性を求める解法。二方程式乱流モデル
○ 浮力の考え方：ブジネスク近似
対流のような密度不均一な流体を議論する際に，密度不均一の効果を浮力のような体積力だけについて考え，そ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

の他の効果，慣性力や連続の方程式では密度を均一とする近似

○ 計算格子：別添１－９図参照

物体の空気側第１計算セルの厚さは，模擬キャスク表面で［　　］，総格子数は［　　　　］格子。

b．検証解析結果

別添１－10 図に使用済燃料貯蔵建屋内温度分布比較位置，別添１－11 図に使用済燃料貯蔵建屋内速度分布比較位置を示す。別添１－12 図～別添１－15 図に使用済燃料貯蔵建屋内温度分布の試験値と解析による計算値の比較，別添１－16 図～別添１－18 図に使用済燃料貯蔵建屋内速度分布の試験値と解析による計算値の比較を示す。

使用済燃料貯蔵建屋内温度分布は，高さの低い床面近傍位置において，解析値が試験値に対して低い結果となっているが，それ以外の位置においては，概ね相違ない結果となっていること，また，使用済燃料貯蔵建屋内速度分布は，解析値と試験値とが概ね相違ない結果となっていることがわかる。その他，ホットスポットは試験，解析とも共に報告されておらず，よどみ領域はスケール試験とほぼ同じ領域に解析で再現（低温で低速の循環流領域）されていることが確認できる。

床面近傍位置において，解析値が試験値に対して低い結果となった理由は，試験では模擬キャスク側部表面を鏡面仕上げとして模擬キャスクの輻射を低減しているが，輻射伝熱（放射率 0.1 程度[2)]）は存在すると考えられ，輻射伝熱により床面・支柱等が暖められ，暖められた床面・支柱等より空気が加熱される。（添付２参照）

一方，今回のＦＬＵＥＮＴ検証解析が，試験装置内の流況及び模擬キャスク表面温度について，試験データを物理的に妥当に再現できることの確認を主眼に実施したものであり，模擬キャスク表面温度を保守的に評価するため，輻射を考慮しない条件で解析している。

輻射を考慮しない場合の伝熱経路は，模擬キャスクから空気への伝熱であり，あたためられた空気は天井面近傍へと上昇していく。よって，天井

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

面近傍は温度が高く，床面近傍は温度の低い状態となる。

輻射を考慮した場合の伝熱経路は，床面・支柱等への輻射による伝熱が加わることとなる。ただし，模擬キャスクの発熱量等その他の設定条件は変更されていないため,熱バランスに変更はなく,排気温度は変わらない。

模擬キャスク側面からの輻射の影響は，距離が近く，立体角の大きい床面へ影響が大きく，輻射を考慮しない場合と比較し，床面近傍の空気温度は高くなるが，天井面近傍の空気温度への影響は小さい。（添付２参照）

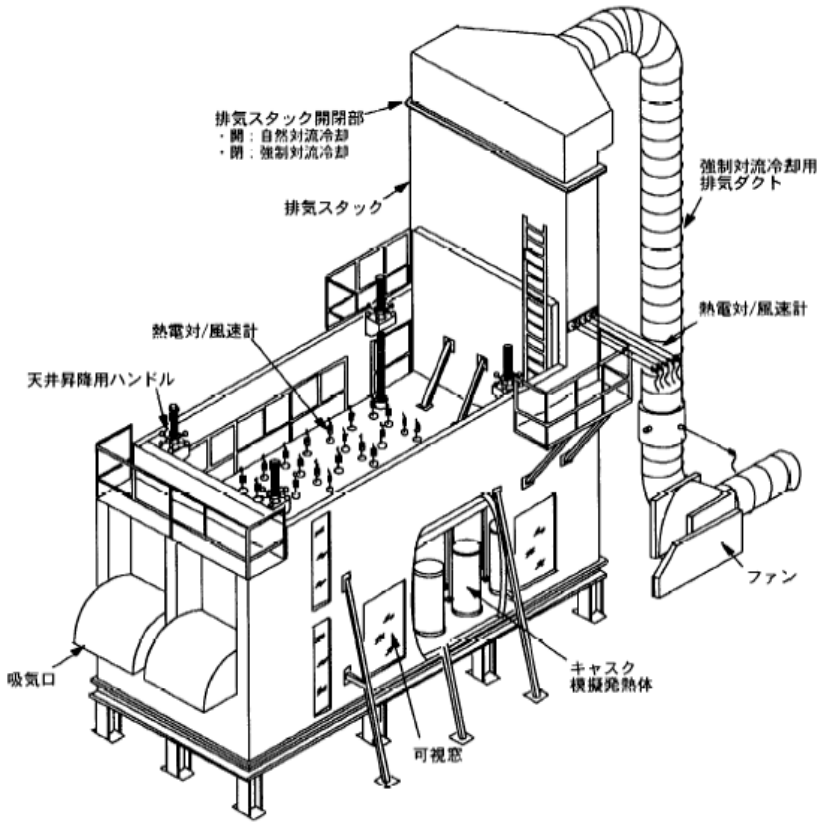
これらより，三次元熱流動解析コード：ＦＬＵＥＮＴ，乱流モデル：$\kappa-\varepsilon$ モデル，浮力の取扱：ブジネスク近似，金属キャスク表面の空気側第 1 格子幅：□ により，使用済燃料貯蔵建屋内の流況，温度分布の熱伝達特性を模擬できると判断する。

参考文献

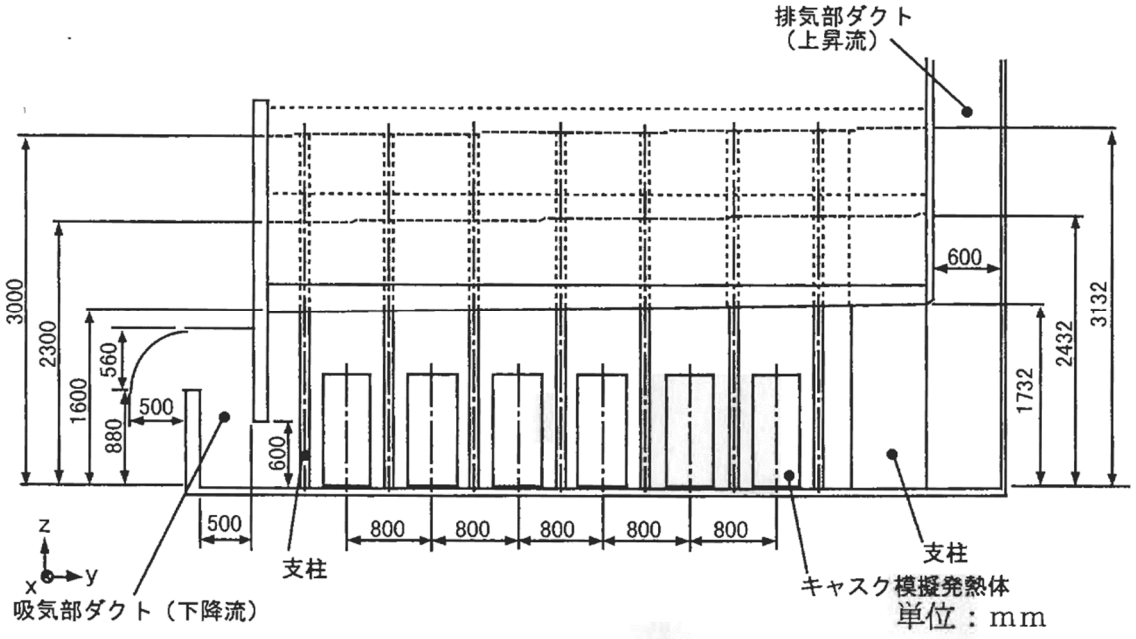
1）竹田浩文・古賀智成・亘真澄・坂本和昭，キャスク貯蔵施設の除熱性能の実証に関する研究－スタック方式施設の除熱試験－依頼報告：U99505，電力中央研究所報告，2000 年

2）日本機械学会，伝熱工学資料　改訂第 4 版，丸善株式会社，2003 年

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

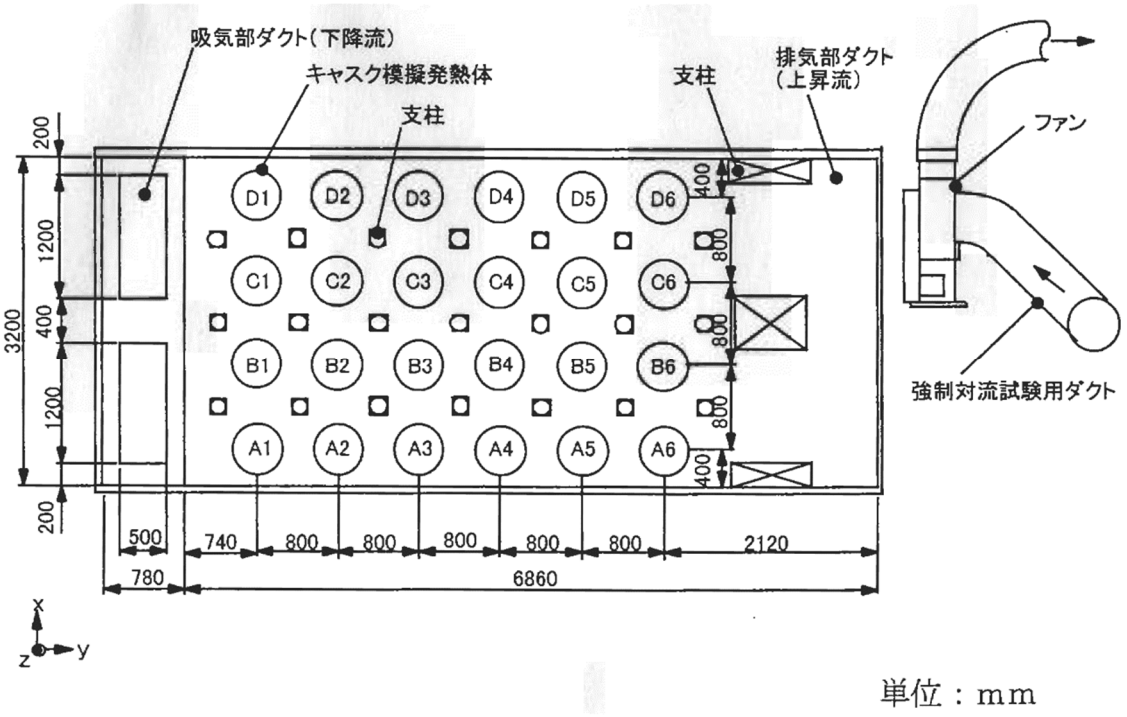


別添１－４図　試験装置鳥瞰図

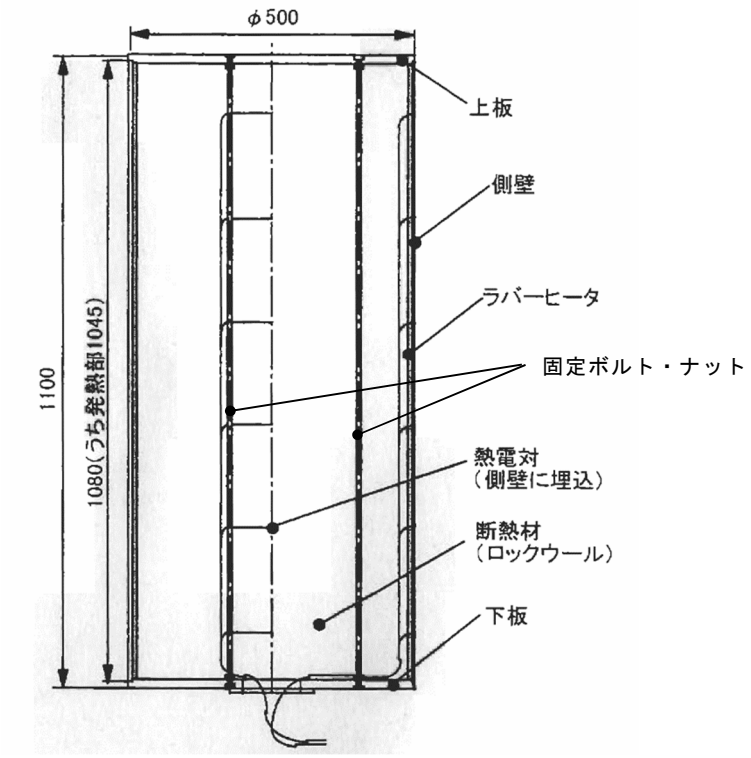


別添１－５図　試験装置の貯蔵部立断面図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



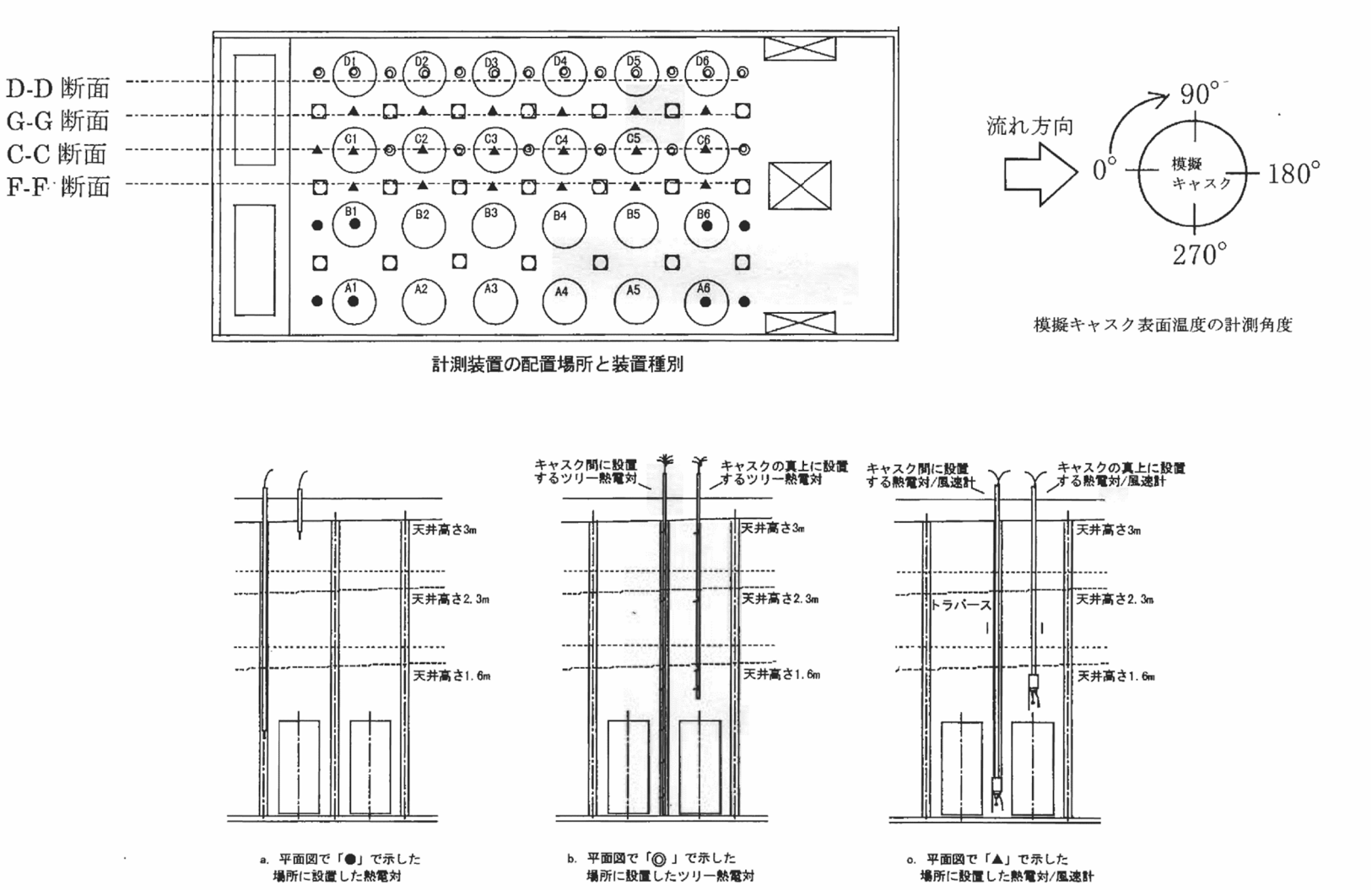
別添１－６図　試験装置の貯蔵部平面図



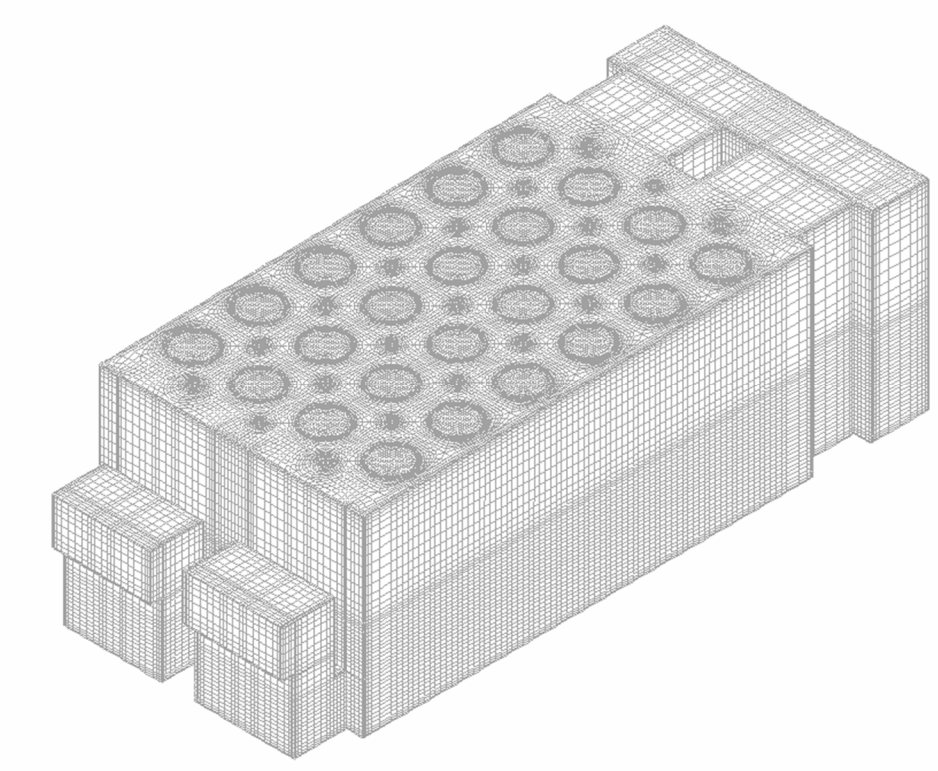
別添１－７図　模擬キャスク断面図

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

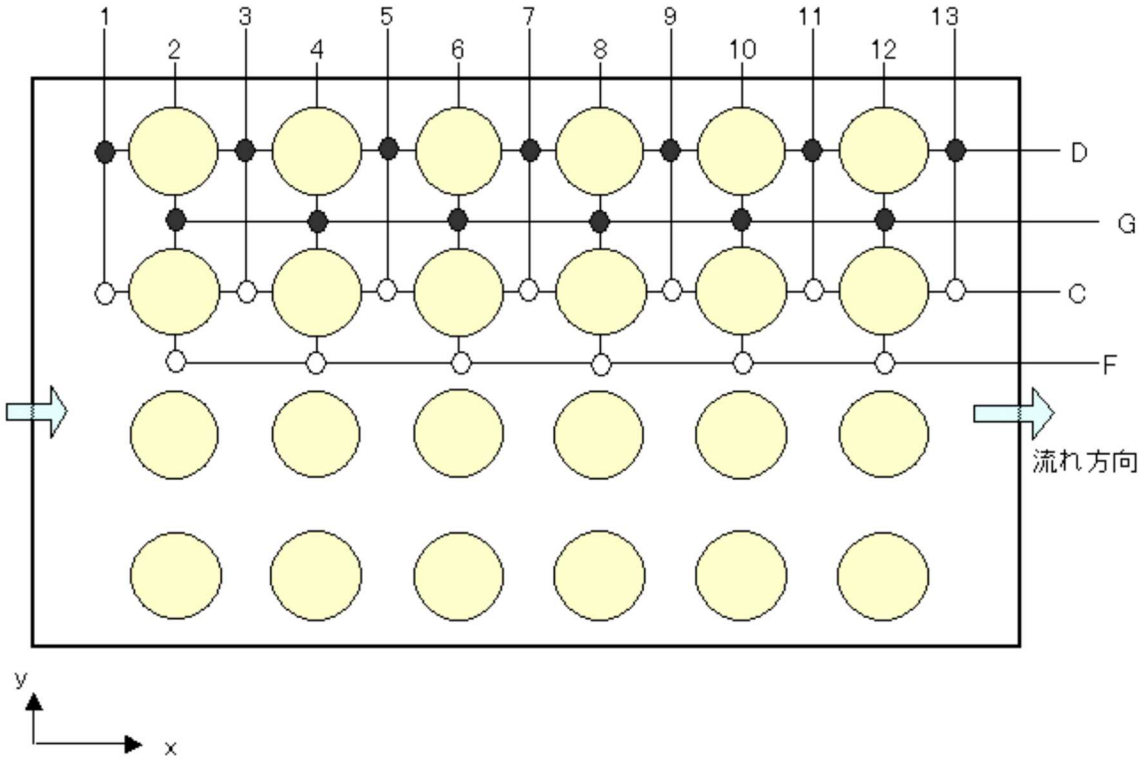


別添１－８図　計測位置（貯蔵部）

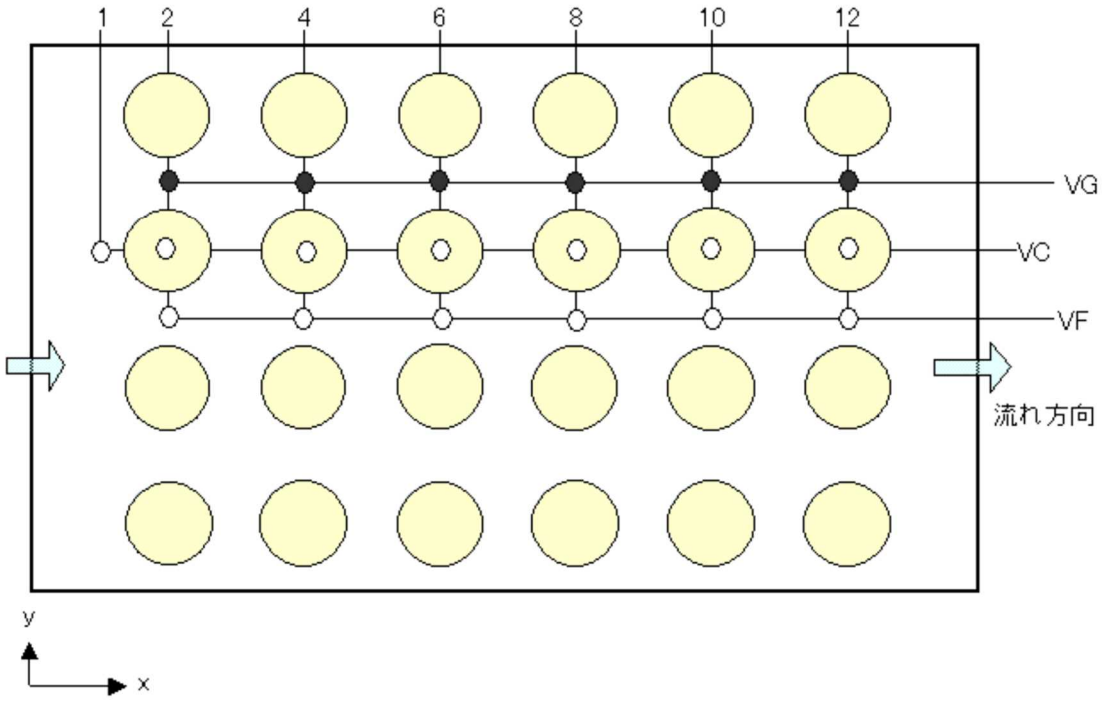


別添１－９図　妥当性確認解析の全体モデル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

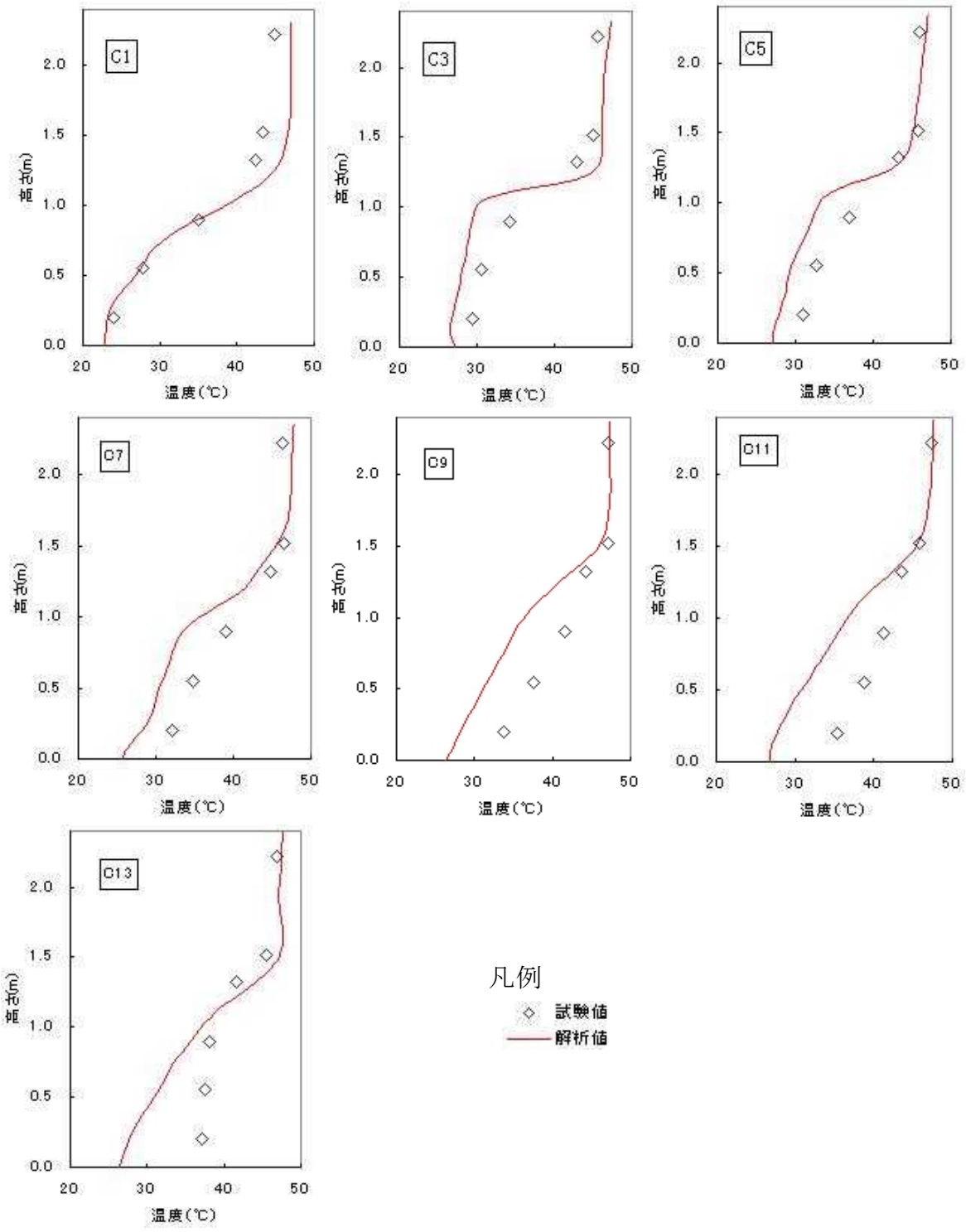


別添１－10 図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布比較位置



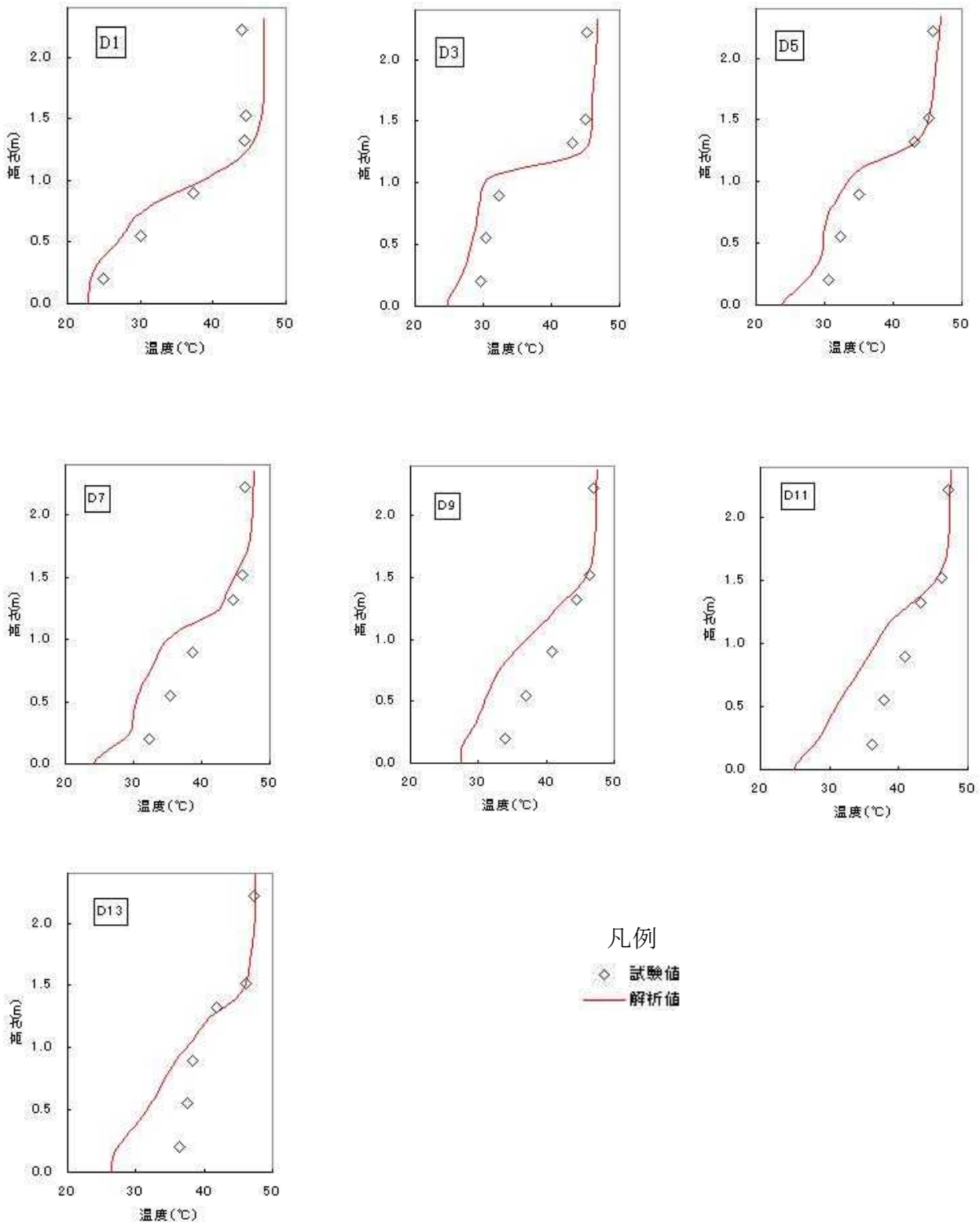
別添１－11 図　使用済燃料貯蔵建屋内速度分布比較位置

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



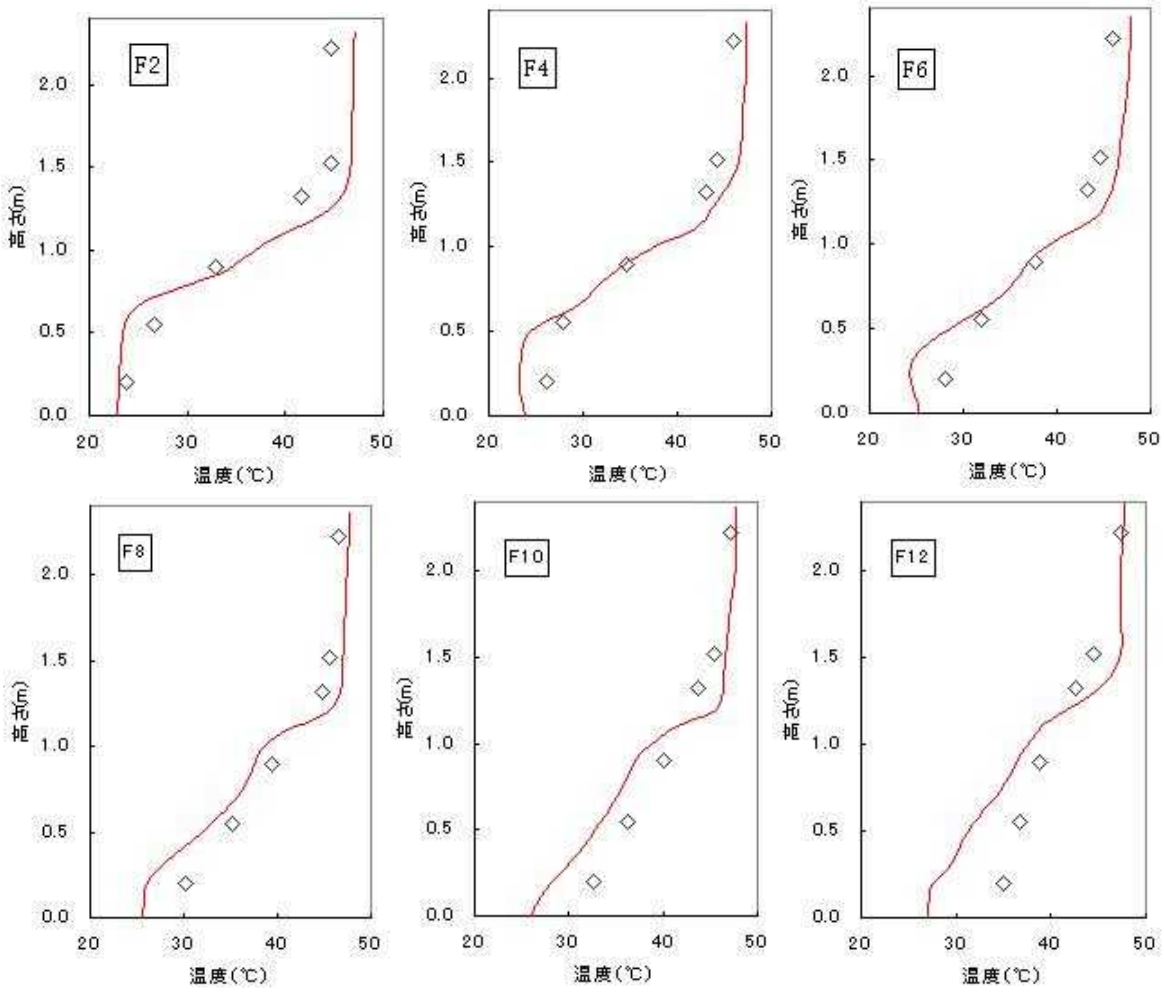
別添１－12 図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布比較（その 1）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



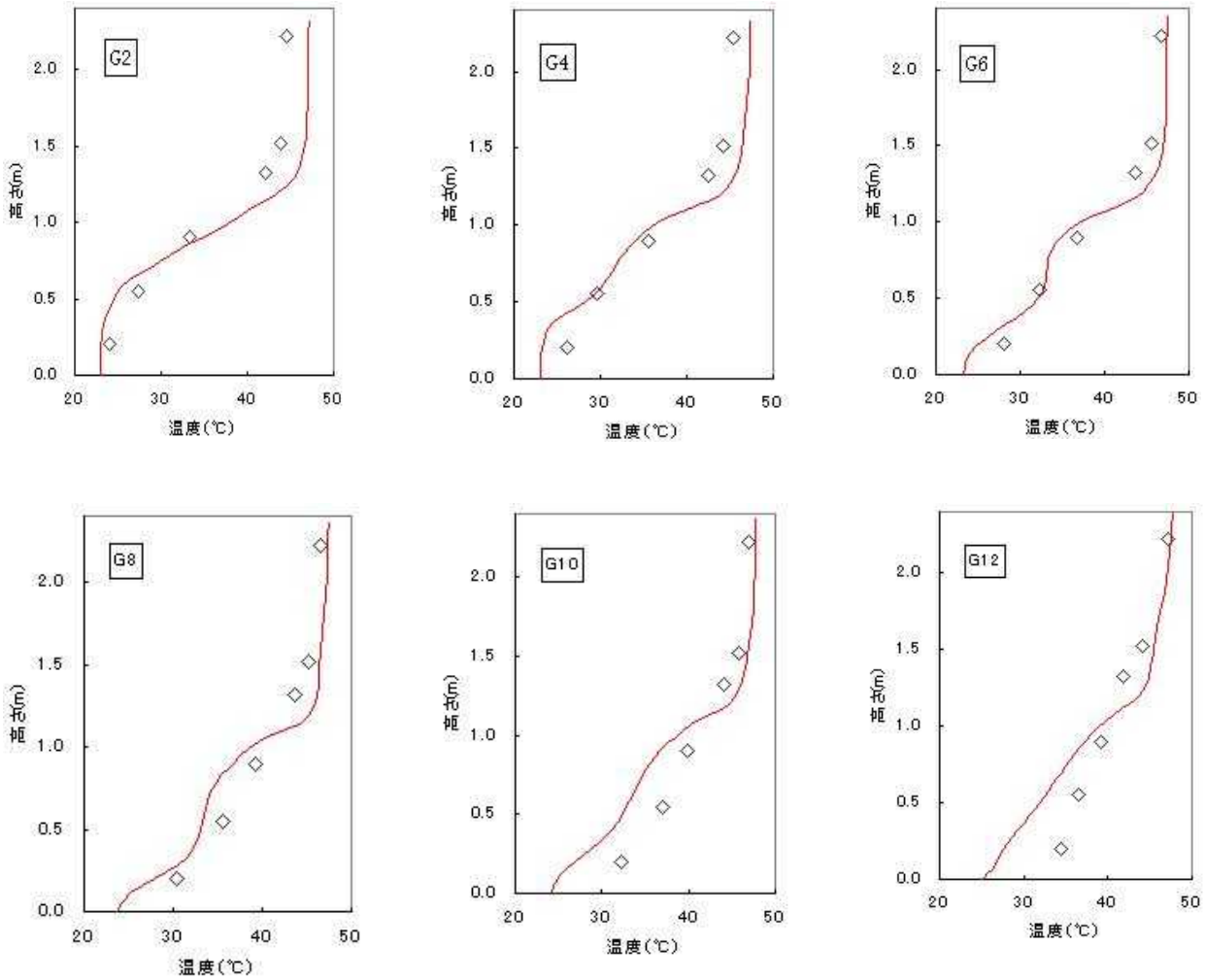
別添１－13 図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布（その 2）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



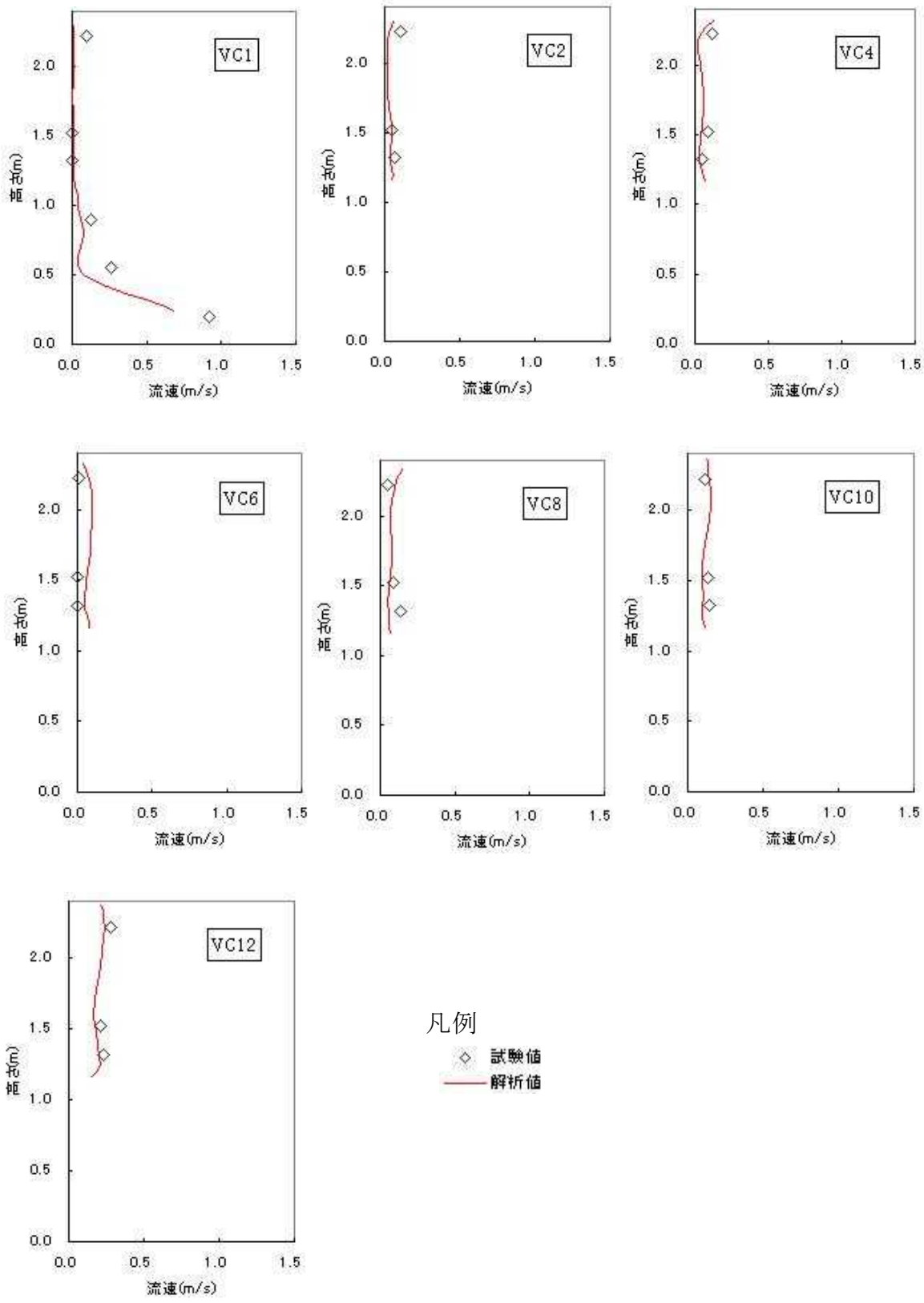
別添１－14 図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布（その 3）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



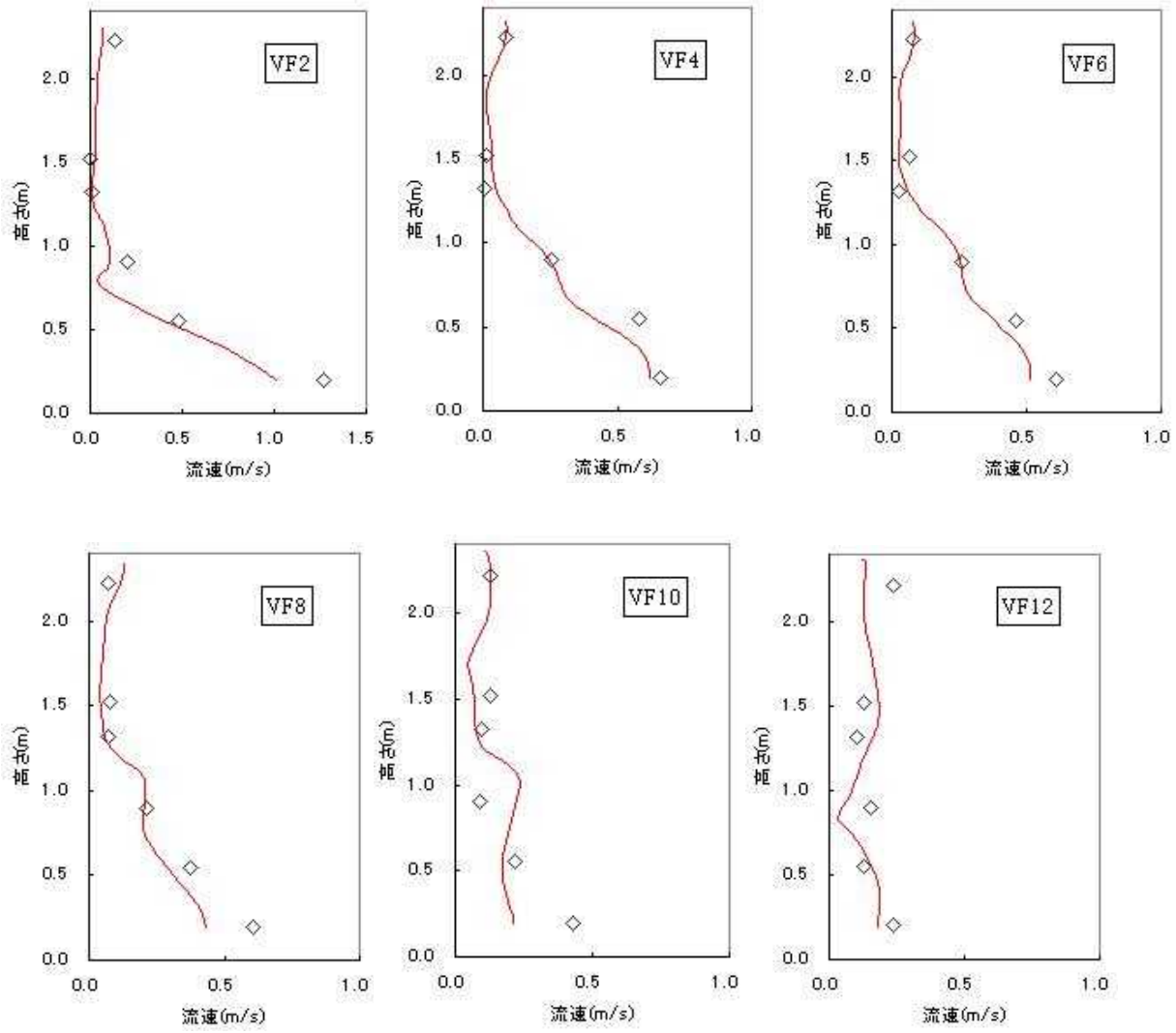
別添１－15 図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布（その 4）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



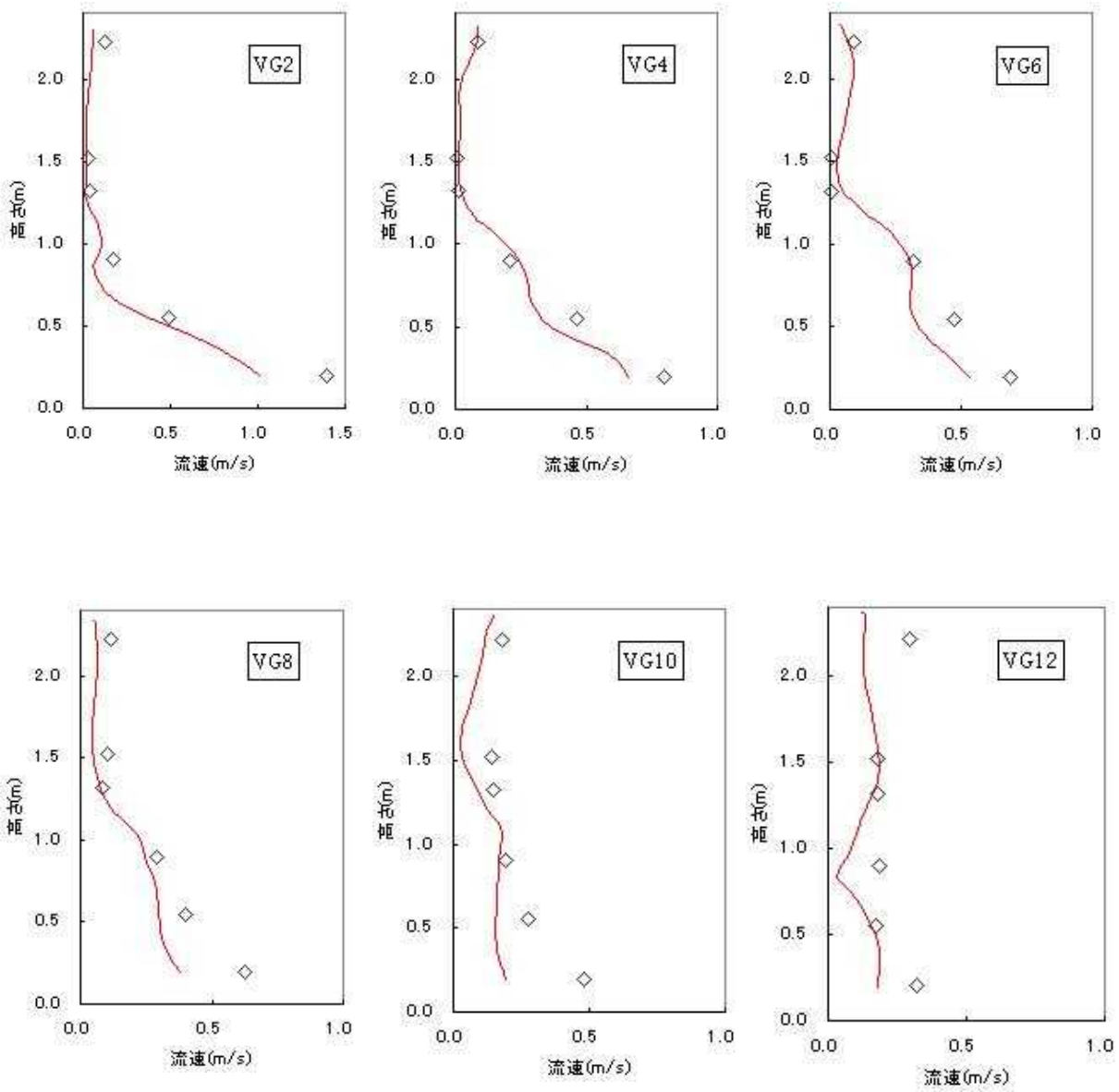
別添１－16 図　使用済燃料貯蔵建屋内速度分布比較（その 1）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－17 図　使用済燃料貯蔵建屋内速度分布比較（その 2）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－18 図　使用済燃料貯蔵建屋内速度分布比較（その 3）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

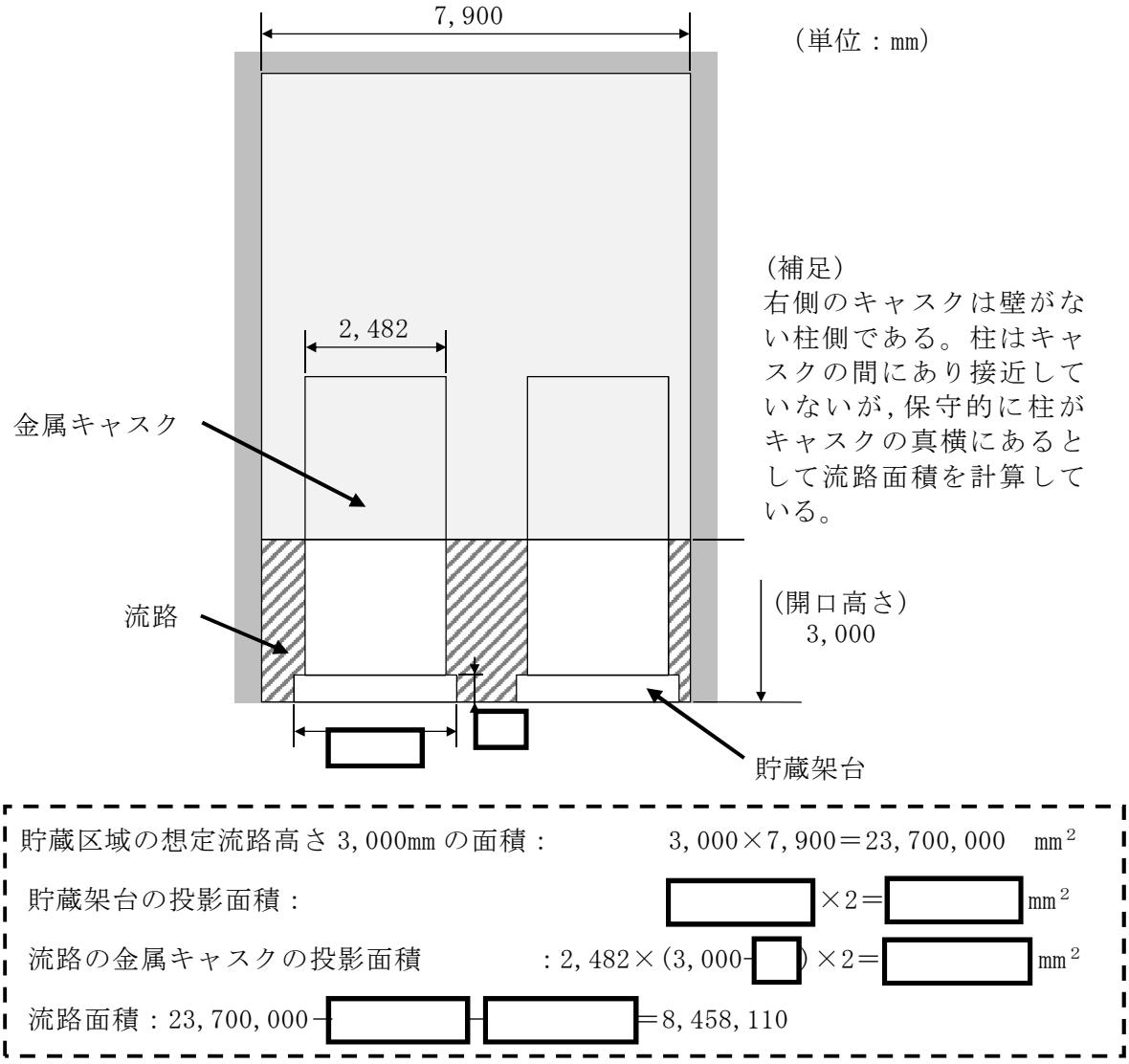
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

添付１

（補足）一次熱計算における貯蔵部の流路設定について

別添１－１表（流路の圧力損失係数及び流路面積）における「⑪管群（貯蔵部）」の流路面積を以下に示す。

一次元熱計算における冷却空気の想定流路は，貯蔵区域への開口高さ 3000mm 以下を流路とし，そこから金属キャスク及び貯蔵架台を除いた部分を設定している。（添付１－１図の内，斜線部）



添付１－１図　圧損係数における想定（⑪管群（貯蔵部））の流路面積

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

（補足）ＦＬＵＥＮＴ検証における模擬キャスクの輻射の考慮について

電中研試験では，模擬キャスク側部表面を鏡面仕上げとして，模擬キャスクの輻射を低減していることから，解析コードの検証解析では，輻射を考慮しない条件とした。

検証解析では，輻射を考慮していないので，伝熱経路が模擬キャスクから空気への伝熱となり，あたためられた空気が天井面近傍へと上昇していく。その結果，天井面近傍は温度が高く，床面近傍は温度が低くなっている。

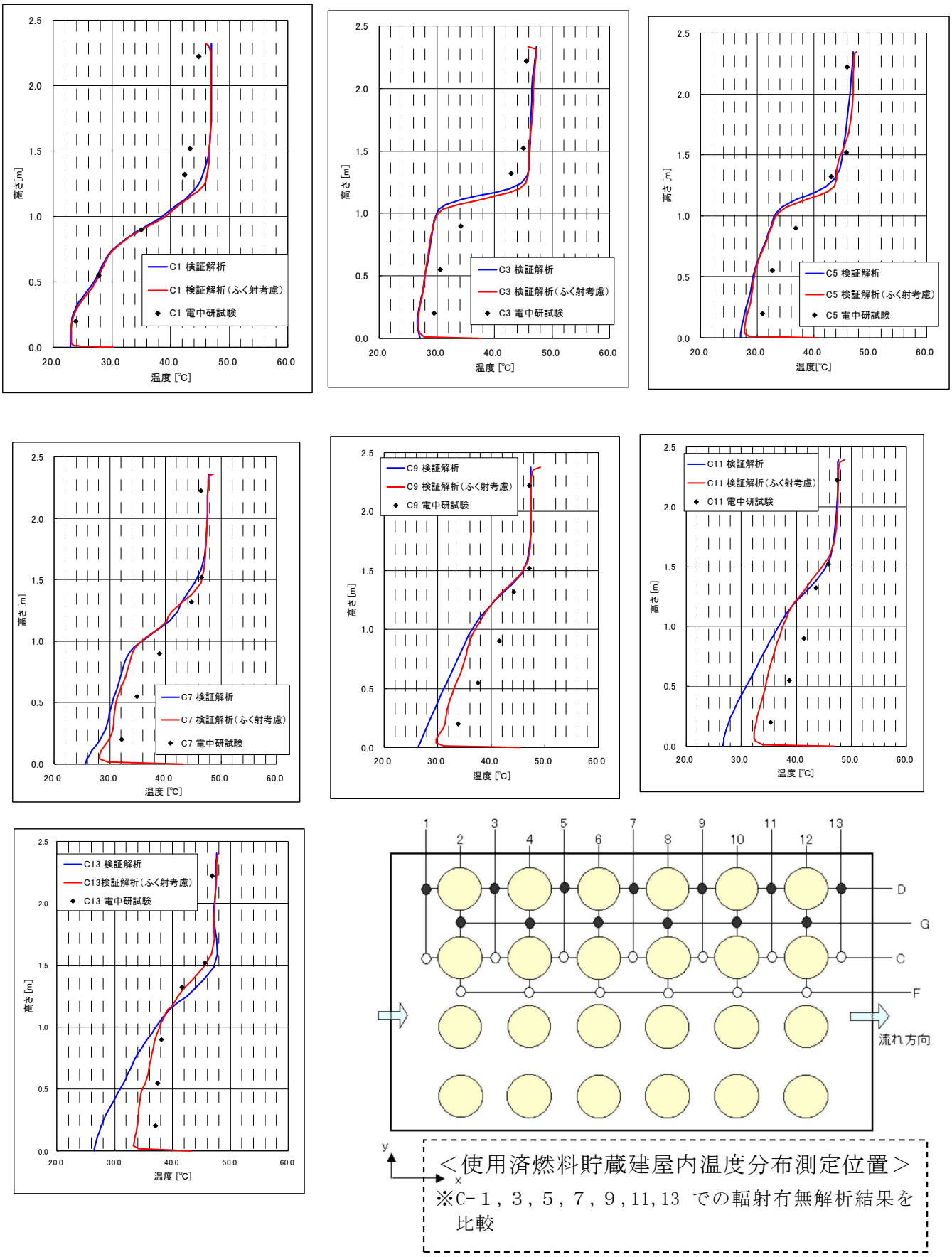
現実には，模擬キャスクの輻射伝熱により床面があたためられ，その結果，床面近傍の空気があたためられる。輻射を考慮しない場合に比べて，床面近傍の空気の温度は高くなる。

輻射を考慮した検証解析でも，輻射伝熱により床面があたためられ，その結果，床面近傍の空気があたためられる。輻射を考慮しない場合と比べて，床面近傍の温度が高くなっている。

使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析で，使用済燃料貯蔵建屋躯体コンクリートの最高温度は，貯蔵架台と床面の接触部である。適合性説明資料において，輻射を考慮した条件で解析している。輻射を考慮しても使用済燃料貯蔵建屋躯体コンクリートの最高温度は，65℃を超えないことを確認している。

別添１－12 図をベースに比較した結果を，参考として添付２－１図に示す。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付２－１図　使用済燃料貯蔵建屋内温度分布比較

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

（補足）使用済燃料貯蔵建屋内の定常な空気の流れを想定した三次元熱流動解析について

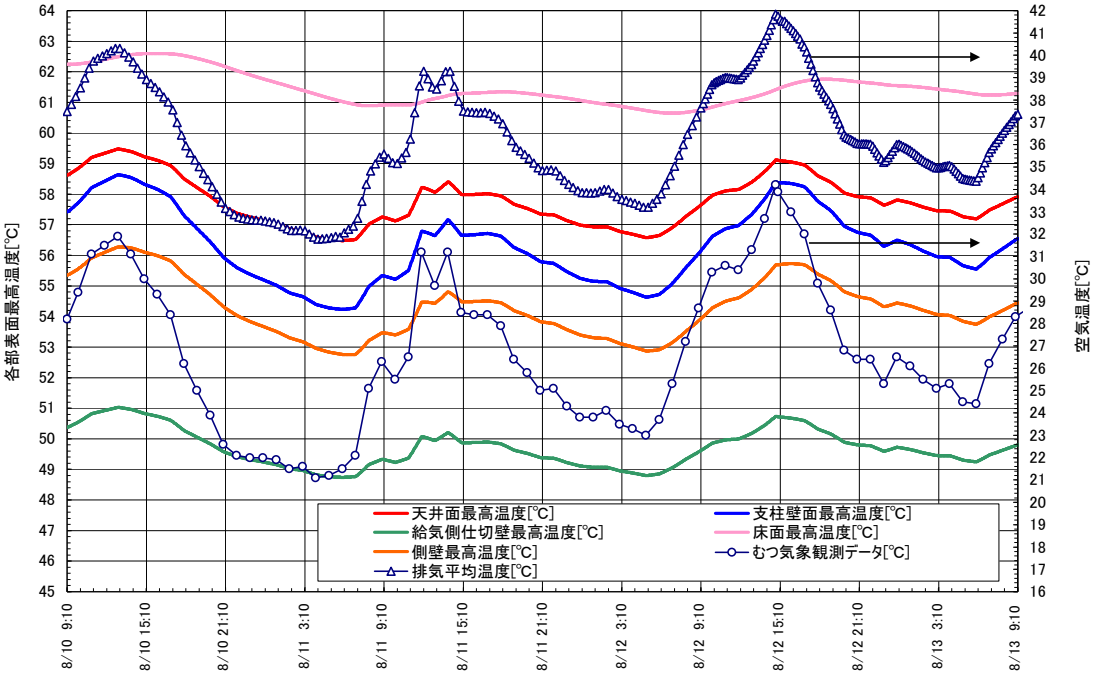
三次元熱流動解析では，定常計算によって使用済燃料貯蔵建屋躯体コンクリートの時間平均温度が恒常的に制限値を超えないことを確認している。給気温度，金属キャスク発熱量等の解析条件を保守的に設定することで，建屋躯体コンクリート温度を厳しく評価している。

例えば，給気温度については，日中－夜間の日変動や年間変動を無視して，設計給気温度が 24 時間継続するような厳しい状態で解析を行っている。

外気温度の変化を考慮した非定常解析を行い，建屋躯体温度の時間変化を追跡した結果，建屋躯体コンクリートや金属キャスクの構造材が持つ熱容量は大きく，床面の温度変動は極めて緩やかであることを確認している。例として，外気温度と使用済燃料貯蔵建屋各部のコンクリート最高温度の時間変化を追跡した結果を別添２－１図に示す。

使用済燃料貯蔵建屋内の流れ場の揺らぎによって生じる建屋躯体の温度変動は微小と考えられることにより，温度変動を含めたこれらの温度場は厳しい解析条件によって得られた定常状態の温度場により包絡されるものと考えられる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添２－１図　外気温度変動に対する使用済燃料貯蔵建屋躯体の温度変化

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

給気温度の変化等による除熱評価結果への影響について

給気温度等解析条件が変動した場合の除熱解析結果への評価について，下記（１）～（３）に示す。なお，本評価にあたっての金属キャスクの最大崩壊熱量や寸法等については，除熱解析結果における影響を確認する目的から以下の通りに設定した。

(1) 給気温度の設定について

使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析では，設計給気温度を 29.5℃として評価している。この温度は，むつ特別地域気象観測所の 2004 年～2013 年の夏季（６月～９月）毎正時温度データを用いて，高温側から１％の値（超過危険率１％）を用いている。1994 年以降 2016 年度までの 10 年ごとの夏季（６月～９月）毎正時温度データの状況を別添３－１表に示す。

なお，除熱解析においては，日中-夜間の日変動や年間変動を無視して，設計給気温度が 24 時間継続するような厳しい設定として解析を行っている。また，外気温度の変化を考慮した非定常解析では，使用済燃料貯蔵建屋コンクリートや金属キャスクが持つ熱容量は大きく，設計給気温度を超える期間は長くは続かず，床面温度変動はきわめて緩やかであることを確認している。このため，外気温度が変わる都度，設計条件を変更する必要はないと考えられる。

(2) 給気部流路外壁設置の保安灯による除熱評価への影響について

給気部流路の外壁に取り付けられている保安灯は，流路断面積 14.8m^2(2.0m×7.4m)に対して 0.0961m^2(77mm×1248mm)，比率として 0.65%であり，流路断面積に占める割合は小さい。過去に実施した三次元熱流動解析結果の流れ場(別添３－１図)からも，保安灯のサイズ，設置位置は貯蔵区画に流入する給気流れに大きな影響は与えないと考えられる。また，一次元計算において，壁に取り付けられている保安灯の消費電力が保守的に 100%熱に

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

変わるものとして考慮しても，影響がないことを確認している。

(3) その他

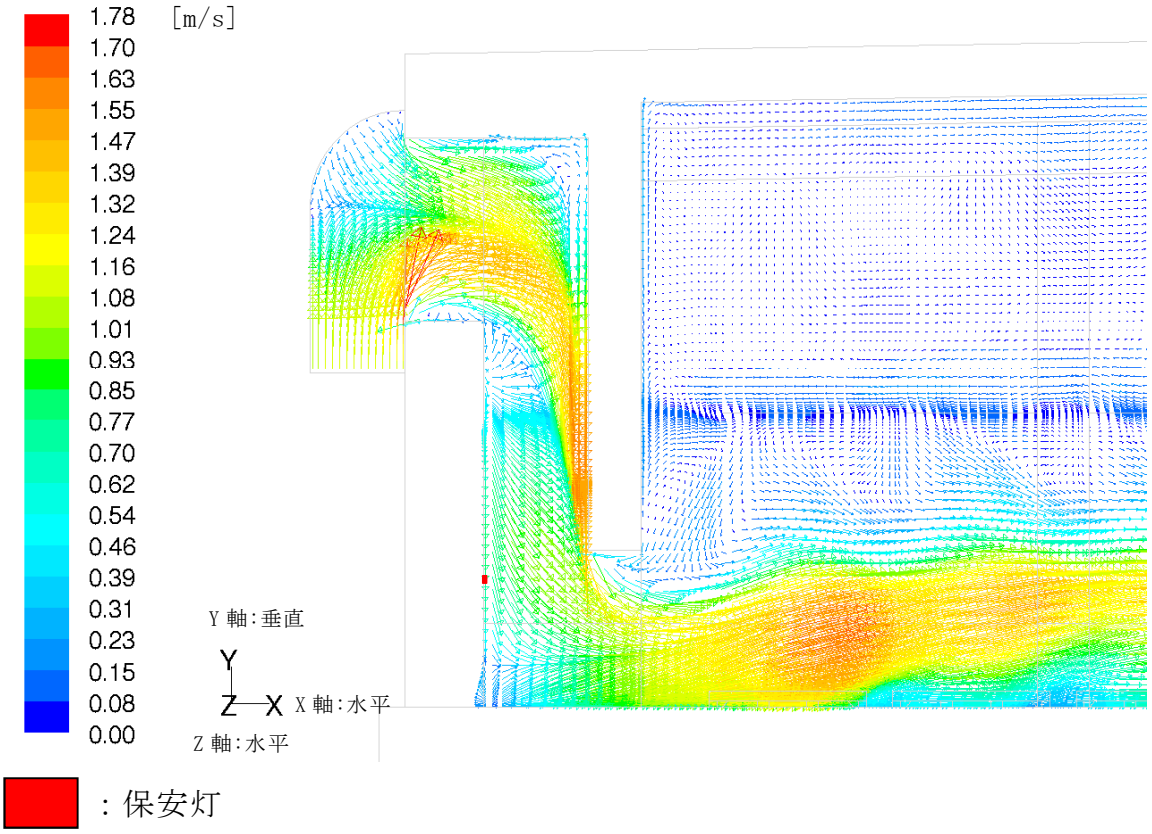
受入れ区域の状況についても評価状況を添付にて示す。一次元熱計算における受入れ区域の排気温度は 39.9℃となり，基準とした 45℃以下であることを確認している。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３－１表　環境条件の設定（給気温度）

観測期間	夏季（６月～９月）毎正時温度データを用いて 高温側から１％の値（超過危険率１％）
1994 年～2003 年	29.2℃
1995 年～2004 年	28.9℃
1996 年～2005 年	28.9℃
1997 年～2006 年	29.0℃
1998 年～2007 年	29.1℃
1999 年～2008 年	29.1℃
2000 年～2009 年	28.6℃
2001 年～2010 年	28.9℃
2002 年～2011 年	29.1℃
2003 年～2012 年	29.4℃
2004 年～2013 年	**29.5℃**
2005 年～2014 年	29.4℃
2006 年～2015 年	29.4℃
2007 年～2016 年	29.4℃

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添３－１図　給気部(開口中央)の流況

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

受入れ区域における排気温度評価について

受入れ時のみキャスクがある受入れ区域の排気温度を添付３－１表に示す。一次元熱計算における受入れ区域の排気温度は 39.9℃であり，基準温度の45℃以下であることを確認した。

添付３－１表　受入れ区域の排気温度

評価領域	給気温度	排気温度	基準温度
受入れ区域	29.5℃	39.9℃	45℃

［評価条件］

① 評価領域，流路設定及び考慮する圧力損失要素

評価領域は，受入れ区域給気部の開口寸法が各開口部で異なるため，給気部の開口寸法が最小であるエリアを選定した（添付３－１図)。また，流路設定及び考慮する圧力損失要素を添付３－２図に示す。

② 金属キャスクの発熱量

評価領域における金属キャスクの総発熱量として 12.1kW×2 基を想定。

③ 照明設備の発熱量

評価領域における照明設備の発熱量として 1.4kW を想定。

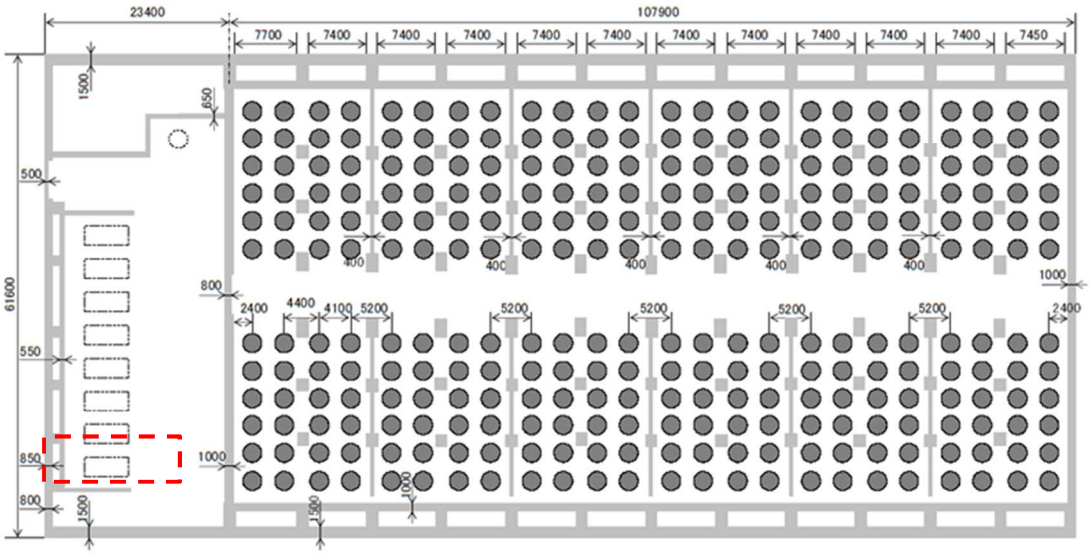
④ 金属キャスクの形状

金属キャスクは，緩衝体が取り付けられた状態で受入れ区域に仮置きされるため，BWR 中型キャスクの上部および下部に円柱形状の緩衝体を想定。

⑤ 設計給気温度

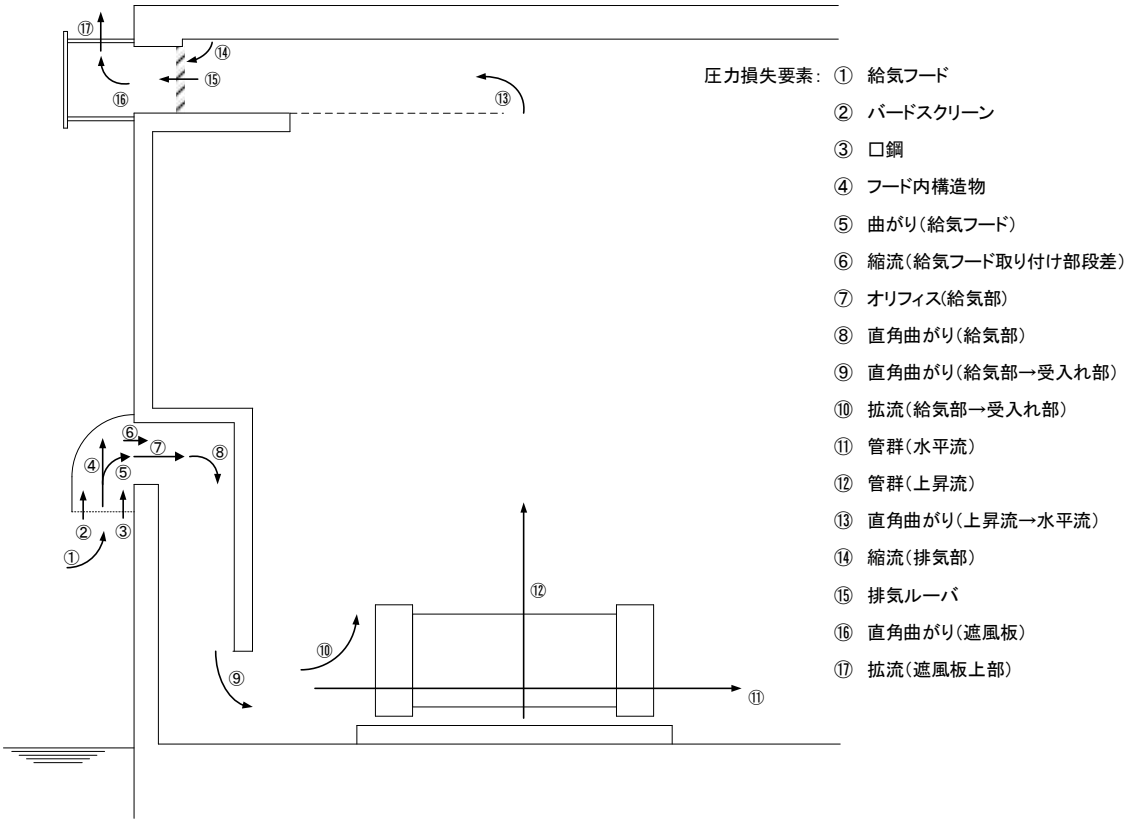
29.5℃一定とした。むつ特別地域気象観測所の 2004 年～2013 年の夏季（６月から９月）毎正時温度データを用いて高温側から１％の値(超過危険率１％)。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



：評価領域

添付３－１図　受入れ区域の評価領域



添付３－２図　考慮する圧力損失要素

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第７条　火災等による損傷の防止

＜目　次＞

１．設計方針
２．火災防護設計の基本方針
３．施設設計

（別　添）
別添１　使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能
別添２　原子炉施設の安全機能
別添３　火災防護設計の基本方針
別添４　火災防護に係る審査基準との比較
別添５　火災防護に係る運用等について
別添６　受入れ区域架構鉄骨緩衝材に関する火災発生防止対策について

１．設計方針

使用済燃料貯蔵施設は，火災又は爆発により基本的安全機能が損なわれないよう，火災及び爆発の発生防止，火災及び爆発の発生の早期感知及び消火，火災及び爆発の影響の軽減について適切に組み合わせた火災防護対策を講ずる設計とする。

なお，使用済燃料貯蔵施設には，基本的安全機能を損なうような爆発を発生させる機器・設備は存在しない。

(1)　火災の発生防止

使用済燃料貯蔵施設は，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用した設計とするとともに，ケーブルについても金属キャスクへの影響に応じて難燃ケーブル及び難燃性ケーブルを使用する設計とする。

発火性又は引火性物質に対して漏えい防止対策を講じ，電気系統には遮断器を設け過電流による電気火災防止対策を講ずる設計とする。

使用済燃料貯蔵建屋は落雷による火災発生を防止するため，避雷設備を設置する設計とする。

なお，着火源となる火花を発生する設備や高温の設備で異常な温度上昇の防止対策を必要とする設備は設置しない。

(2)　火災の感知及び消火

火災の影響を限定し，早期の火災感知及び消火を行うため，火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。

火災感知設備として，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域，受入れ区域に火災感知器を設置し，火災警報を警報設備である火災受信機において表示，吹鳴する設計とする。

消火設備として，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災に対して，消火活動を早期に行うことを目的に，「消防法」に基づき適切に消火器，動力消防ポンプ及び防火水槽を設置する。

使用済燃料貯蔵施設における火災発生時には，自衛消防隊を設置し，消火活動を行う。また，火災発生時の消火活動に関する教育及び自衛消防隊による総合的な訓練を定期的に実施する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　火災の影響軽減

使用済燃料貯蔵建屋の各区域及び区画は，３時間耐火能力を有するコンクリート壁，並びに１時間耐火能力を有する防火扉及び防火シャッタ（「建築基準法」に基づく特定防火設備）で分離する。

更に，受入れ区域と貯蔵区域の間の防火扉及び防火シャッタには，箱状の鋼材にコンクリートを充填した遮蔽扉を併設する。

これらの施設，設備により，火災発生時の影響が他の区域や区画に波及しない設計とし，火災発生時の影響を軽減する。

２．火災防護設計の基本方針

使用済燃料貯蔵施設における基本的安全機能を有する施設は，使用済燃料貯蔵建屋と金属キャスクである（別添１参照）。

一方で，実用発電用原子炉の火災防護範囲は大きく異なっており「原子炉の安全機能（原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持のために必要な機能，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，系統及び機器を火災から防護することを目的としている（別添２参照）。

(1)　従来の使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計

「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」（以下「貯蔵施設安全審査指針」という。）の要求を受け，火災防護設計を行ってきた。また，基本的安全機能に影響する火災及び爆発は起きないが，財産保護の観点から，「消防法」，「建築基準法」に準拠し火災防護設計を講じてきた（別添３参照)。

(2)　新規制基準を受けた火災防護設計

従来の貯蔵施設安全審査指針では，「火災・爆発の発生を防止し，かつ，万一の火災・爆発時には，その拡大を防止するとともに，施設外への放射性物質の放出が過大とならないための適切な対策が講じられていること。」とされていたが，「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下「事業許可基準規則」という。）では，火災等による損傷の防止として「火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じ

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

たものでなければならない。」とされた（別添３参照）。

従って，使用済燃料貯蔵施設は，使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，基本的安全機能を確保する上で必要な施設（基本的安全機能を有する使用済燃料貯蔵建屋（遮蔽機能，除熱機能），金属キャスク（閉じ込め機能，遮蔽機能，臨界防止機能，除熱機能），及び貯蔵架台，受入れ区域天井クレーン（吊具，ブレーキ，ワイヤロープ），搬送台車）について，「事業許可基準規則」に記載の措置を適切に組み合わせ対応している（別添３参照）。

(3)　火災防護に係わる審査基準との比較について

使用済燃料貯蔵施設は，「事業許可基準規則」に基づき火災防護設計を行っている。「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」は，直接の要求事項ではないが参考に比較を行った（別添４参照）。

３．施設設計

3.1　火災の発生防止

(1)　不燃性材料又は難燃性材料の使用

使用済燃料貯蔵施設は，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する設計とする。

ａ．主要な施設及び構造材に対する不燃性材料の使用

(a)　基本的安全機能を確保する上で必要な施設は，以下の通り不燃性材料を使用する設計とする。

i.　金属キャスク及び貯蔵架台は，主要材料が金属製の不燃性材料である。

ii. 受入れ区域天井クレーンのつり具，ブレーキ，ワイヤロープは金属製である。

iii. 搬送台車のドライブユニットは，鋼板製のカバーで囲んだ構造とする。

iv. 使用済燃料貯蔵建屋は，不燃性材料を構造材とする鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(b)　基本的安全機能を確保する上で必要な施設以外の施設についても，実用上可能な限り不燃性材料を使用する設計とする。

i.　受入設備（仮置架台，たて起こし架台，検査架台）は金属製である。なお，たて起こし架台及びその周辺に敷設する衝撃吸収材は木材をステンレス板で覆い，着火しない構造とする。

ii. 配管，ダクト，ケーブルトレイ，電線管，盤の筐体及びこれらの支持構造物のうち主要な構造材は,金属製の不燃性材料を使用する。

iii.受入れ区域架構鉄骨に自主的に設置する緩衝材は，ポリプロピレン発泡体に耐火被覆を巻いたものとし，着火しない構造とする。

b．難燃ケーブル及び難燃性ケーブルの使用

金属キャスクに直接接続するケーブルは,自己消火性についてUL垂直燃焼試験の試験規格に適合するとともに，延焼性について IEEE383, IEEE1202の試験規格に適合した難燃ケーブル，又はそれらの試験規格に基づく実証試験に合格した難燃ケーブルを使用する設計とする。

その他のケーブルは，JIS C 3005傾斜試験適合品と同等以上の難燃性ケーブルを使用する設計とするか,又は金属製の盤,電線管に収納する設計とする。

c．換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用

使用済燃料貯蔵建屋のうち，金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域及び金属キャスクを仮置きする受入れ区域は除熱のための空気の通風を自然換気により行い，換気設備のフィルタは使用しない。

d．保温材に対する不燃性材料の使用

保温材は，空気圧縮機配管の火傷防止保温と冷却水ポンプ保温，雑用水配管の防露保温と凍結防止保温，及び監視盤室の空調冷媒配管保温に使用することを目的としており，不燃性材料を使用する設計とする。

e．建屋内装材に対する不燃性材料の使用

使用済燃料貯蔵建屋のうち，貯蔵区域の壁の一部（床面から 1.6mの範囲）及び受入れ区域の床及び壁の一部（床面から 1.6mの範囲）は，不燃性のエポキシ樹脂系塗料を使用する設計とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　火災の発生防止

発火性又は引火性物質に対して漏えい防止対策を講ずるとともに，電気系統の過電流による過熱及び損傷の防止対策を講ずる設計とする。

なお，使用済燃料貯蔵施設においては，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがなく，火花を発生する設備や高温の設備で発火源となる設備は設置しない。また，使用済燃料集合体は，金属製の乾式キャスクに収納しており，冷却水が存在しないことから，冷却水が放射線分解により水素を発生することはない。

無停電電源装置の制御弁式鉛蓄電池は，負極板での水素の発生を抑制する構造となっているが，整流器過電圧に伴う過充電により水素が発生する可能性がある。無停電電源装置は，整流器過電圧時に整流器を停止する保護機能があり，このことにより水素の発生を防止する設計とする。

可燃物は，火災区域内又は火災区画内に保管されている可燃物の発熱量から求めた等価時間とそこに設定されている耐火壁の耐火時間を比較し，耐火壁が必要な耐火時間を満足するよう持ち込みを制限する。また，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域には可燃物を仮置きしない運用とする。

ａ．発火性物質及び引火性物質の漏えい防止対策

貯蔵区域及び受入れ区域に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又はグリスを内包する機器は，密閉構造の軸受により潤滑油及びグリスの漏えいを防止するか，受け皿を設置して漏えいの拡大を防止する設計とする。

ｂ．電気系統の過電流による電気火災防止対策

電気系統は，「電気設備に関する技術基準を定める省令」に基づき，過電流継電器の保護継電器と遮断器の組合せにより故障機器系統の早期遮断を行い，過負荷や短絡に起因する過熱，焼損による電気火災を防止する設計とする。

(3)　落雷による火災発生の防止

使用済燃料貯蔵建屋は地上高さ 20ｍを超える設計であり，落雷による火災発生を防止するため，「建築基準法」に基づき JIS A 4201「建築物等の避雷設備（避雷針）」に準拠した避雷設備を設置する設計とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

3.2　火災の感知及び消火

火災の影響を限定し，早期の火災感知及び消火を行うため，火災感知設備及び消火設備を設置する。

(1)　火災感知設備

使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域及び受入れ区域に，「消防法」に基づき，火災区域内を網羅するように火災感知器を設置するとともに，火災警報を警報設備である火災受信機において表示，吹鳴する設計とする。

ａ．火災感知器の環境条件等の考慮

火災感知器は，早期に火災を感知できるよう，各室における取付け面高さ，温度及び霧が発生する環境条件，予想される火災の性質（炎が生じる前に発煙する，火災が発生すると温度が上昇する，及び煙は霧や靄の影響を受けると感知が困難である）を考慮して型式を選定する。

外部から流入した霧及び靄が滞留して感知器の機能に支障を及ぼすおそれのある場所に設置する火災感知器は，機能に支障のないように熱感知器（差動式スポット型感知器）を選定する。その他の場所に設置する火災感知器は，火災時に炎が生じる前の広範囲の発煙段階から感知できる煙感知器を選定する。そのうち，天井が高く広い区域に設置する火災感知器は，その区域を監視できる煙感知器（光電式分離型感知器）を選定し，その他の場所に設置する火災感知器は，煙感知器（光電式スポット型感知器）を選定する。

ｂ．火災受信機

使用済燃料貯蔵建屋の火災警報は，出入管理建屋の火災受信機及び監視盤室の表示機（副受信機）おいて表示，吹鳴する設計とする。

また，事務建屋の火災受信機においても表示，吹鳴する設計とする。

ｃ．火災感知設備の電源確保

火災感知設備は，外部電源が喪失しても有効な蓄電池（60 分間監視後に 10 分以上吹鳴）を有している。また，上記に加え，受変電施設に設置している無停電電源装置及び自主的に出入管理建屋に設置している無停電電源装置から給電される設計とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(2)　消火設備

使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域及び受入れ区域は，除熱のための空気を通風させる給気口及び排気口が設置されており煙が充満しないこと及び放射線の影響により消火活動が困難となることはないことから固定式消火設備は設置しないが，貯蔵区域及び受入れ区域で想定されている火災に対して,消火活動を早期に行うことを目的に,「消防法」に基づき適切に消火器，動力消防ポンプ及び防火水槽を設置する。

使用済燃料貯蔵施設における火災発生時には，自衛消防隊を設置し，消火活動を行う。また，火災発生時の消火活動に関する教育及び自衛消防隊による総合的な訓練を定期的に実施する。

動力消防ポンプの仕様については，規格放水圧力を 0.7MPa，規格放水量を 1.0 ㎥/min 以上及び燃料容量を規格放水圧力，規格放水量で 1 時間以上連続運転可能な量とする。

防火水槽の仕様については，使用済燃料貯蔵建屋の南北に 1 基ずつ設置し，容量を 40 ㎥/基とする。

(3)　自然現象の考慮

ａ．凍結防止対策

動力消防ポンプの水源となる防火水槽は，冬季の凍結を考慮して地下に設置する設計とする。

ｂ．風水害対策

貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災の性質に応じて配置する消火器及び動力消防ポンプは，風雨時の屋外でも使用可能な設計とする。

3.3　火災の影響軽減

使用済燃料貯蔵建屋は，貯蔵区域，受入れ区域，付帯区域で構成し，貯蔵区域はさらに６分割した区画を設定する。これらの区域及び区画は，３時間耐火能力を有するコンクリート壁，並びに１時間耐火能力を有する防火扉及び防火シャッタ（「建築基準法」に基づく特定防火設備）で分離する。

更に，受入れ区域と貯蔵区域の間の防火扉及び防火シャッタには，箱状の鋼材にコンクリートを充填した遮蔽扉を併設する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

これらの施設，設備により，火災発生時の影響が他の区域や区画に波及しない設計とし，火災発生時の影響を軽減する。なお，ケーブルトレイ，電線管及び空気配管が,区域及び区画の床若しくは壁を貫通する場合においては,ケーブルトレイ，電線管及び空気配管と，区域及び区画の床若しくは壁との隙間をモルタルその他の不燃性材料で埋める設計とする。

3.4　火災防護設計の妥当性の確認

(1)　基本的安全機能を確保する上で必要な施設

基本的安全機能を確保する上で必要な施設は,「事業許可基準規則」において要求されている措置を組み合わせ以下のとおり火災防護設計を行っており妥当であることを確認した。

ａ．使用済燃料貯蔵建屋

使用済燃料貯蔵建屋は，基本的安全機能を有する施設を火災より防護するための措置として，３時間耐火能力を有するコンクリート壁，並びに１時間耐火能力を有する防火扉及び防火シャッタ（「建築基準法」に基づく特定防火設備）により囲み，火災区域を設定し，区域特性に応じた火災防護を実施している。貯蔵区域は６分割した火災区画を設定し，可燃性物品の持ち込み及び作業を火災区画単位で管理することにより，火災発生時の影響が貯蔵区域全体に波及しないようにしている。

ｂ．金属キャスク

金属キャスクは不燃物であり,また,金属キャスクに直接接続するケーブルは，難燃ケーブル（※1）を使用している（第１図参照)。

ｃ．貯蔵架台

貯蔵架台は金属製であり，不燃物である。

ｄ．受入れ区域天井クレーン

機能の喪失により金属キャスクが落下し，基本的安全機能を損なうおそれがある，受入れ区域天井クレーンの吊具，ブレーキ，ワイヤロープは，金属製であり，不燃物である。

また,受入れ区域天井クレーンは,密閉構造の軸受けを採用している。

制御盤等については，金属製のガーダ内に設置されている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

ｅ．搬送台車

使用済燃料貯蔵建屋内を走行する搬送台車のドライブユニットは，鋼板製のカバーで囲まれており，また，潤滑油を使用しているが，潤滑油受け皿を設置している。

なお，搬送台車は，火災の影響により動作停止又はエアバッグの破損により搬送中の金属キャスクが貯蔵架台と共に床に着床する可能性があるが，このような状態でも基準地震動に耐えることができるため，金属キャスクの基本的安全機能には影響しない。

また，受入れ区域及び貯蔵区域は，「事業許可基準規則」に記載の措置について適切に組み合わせた措置を講じている（別添４参照）。

(2)　その他の安全機能を有する施設

その他の安全機能を有する施設は，「事業許可基準規則」に準じて火災防護設計を行っており妥当であることを確認した。

ａ．衝撃吸収材

衝撃吸収材は，バルサ材を使用するが，ステンレス板で覆われているため，火炎にさらされても着火することはない。内部のバルサ材が加熱されて発火点を超えた場合は燃焼（炭化）し外部に煙が出るが金属キャスク等には影響しない。

ｂ．たて起こし架台

たて起こし架台は金属製であり，不燃物である。

ｃ．仮置き架台

仮置き架台は金属製であり，不燃物である。

ｄ．検査架台

検査架台は金属製であり，不燃物である。

なお，可動部に用いるケーブルは，金属製の電線管内に布設する。

ｅ．計測制御系統施設

キャスクに直接接続するケーブルは，難燃ケーブル(※1)を使用している（第１図参照）。また，キャスクに直接接続しないその他のケーブルについては，難燃性ケーブル(※2)を使用する（第１図参照）。

また，ヒータ回路については，難燃性ケーブル(※2)を使用する（第１

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

図参照）他に配線用遮断器を設置し保護を行っている。

ｆ．放射線管理施設

キャスクに直接接続しない放射線管理施設に使用するケーブルは，難燃性ケーブル(※2)を使用している（第１図参照)。

ｇ．廃棄施設

廃棄物貯蔵室に保管する廃棄物は,金属製のドラム缶に収納することから，他から引火することはない。

また,使用するケーブルは難燃性ケーブル(※2)を使用し(第１図参照)，金属製電線管内に布設している。

ｈ．通信連絡設備

キャスクに直接接続しない通信連絡設備に使用するケーブルは，難燃性ケーブル(※2)を使用している（第１図参照)。また，ケーブルは金属製の電線管に収納している。

ｉ．消防用設備

消防用設備は，火災の早期感知，消火の措置を講じるために，各室における取付面高さ，温度及び霧が発生する環境条件や，炎が生じる前に発煙する，火災が発生すると温度が上昇する，及び煙は霧や靄の影響を受けると感知が困難である火災の性質を考慮して火災感知器を選定し設置し,また，火災の性質に応じた十分な容量の消火剤を備えている。

キャスクに直接接続しない消防用設備に使用するケーブルは，難燃性ケーブル(※2)を使用している（第１図参照)。また，ケーブルは金属製の電線管に収納している。

ｊ．電気設備

電気系統は,「電気設備に関する技術基準を定める省令」に基づき，過電流継電器の保護継電器と遮断器の組み合わせにより故障機器系統の早期遮断を行い，過負荷や短絡に起因する過熱，焼損による電気火災を防止する設計としている。

火災区域として設定している貯蔵区域及び受入れ区域には，水素が漏えいするおそれがある設備はない。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

※１　難燃ケーブル：

火炎により着火し難く，著しい燃焼をせず，また，加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらない性質を有するケーブルをいう。

使用するケーブルについて，「火災により着火し難く，著しい燃焼をせず，また，加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらない性質」を有していることが，延焼性及び自己消火性の実証試験により示されていること。

（実証試験の例）

・自己消火性の実証試験　UL 垂直燃焼試験

・延焼性の実証試験　IEEE383 または IEEE1202

※２　難燃性ケーブル：

JIS C 3005 傾斜試験適合品と同等以上の難燃性を有するケーブルをいう。

3.5　火災防護に係る運用について

火災防護に係る運用については，可燃物の持ち込みに対する運用及び火災防護対策を実施するための体制について，主に以下を行うこととしている。（別添５参照）

(1)　可燃物持ち込みに対する運用

ａ．電気製品は，過電流，過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用と接地線の取り付け及び接続を義務付ける。

ｂ．金属キャスクの搬入及び搬出作業で使用するキャスク輸送車両（軽油使用）は，作業管理により火災の発生を防止する。

ｃ．ガス溶断作業及び電気溶接作業を実施する場合は厳重な対策を講じる。

ｄ．可燃物は，火災区域内又は火災区画内に保管されている可燃物の発熱量から求めた等価時間とそこに設定されている耐火壁の耐火時間を比較し，耐火壁が必要な耐火時間を満足するよう持ち込みを制限する。また，使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域には可燃物を仮置きしない運用とする。

(2)　火災防護対策を実施するための体制

ａ．火災に対し，自衛消防隊体制（24 時間体制で監視，巡視及び初期消火

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

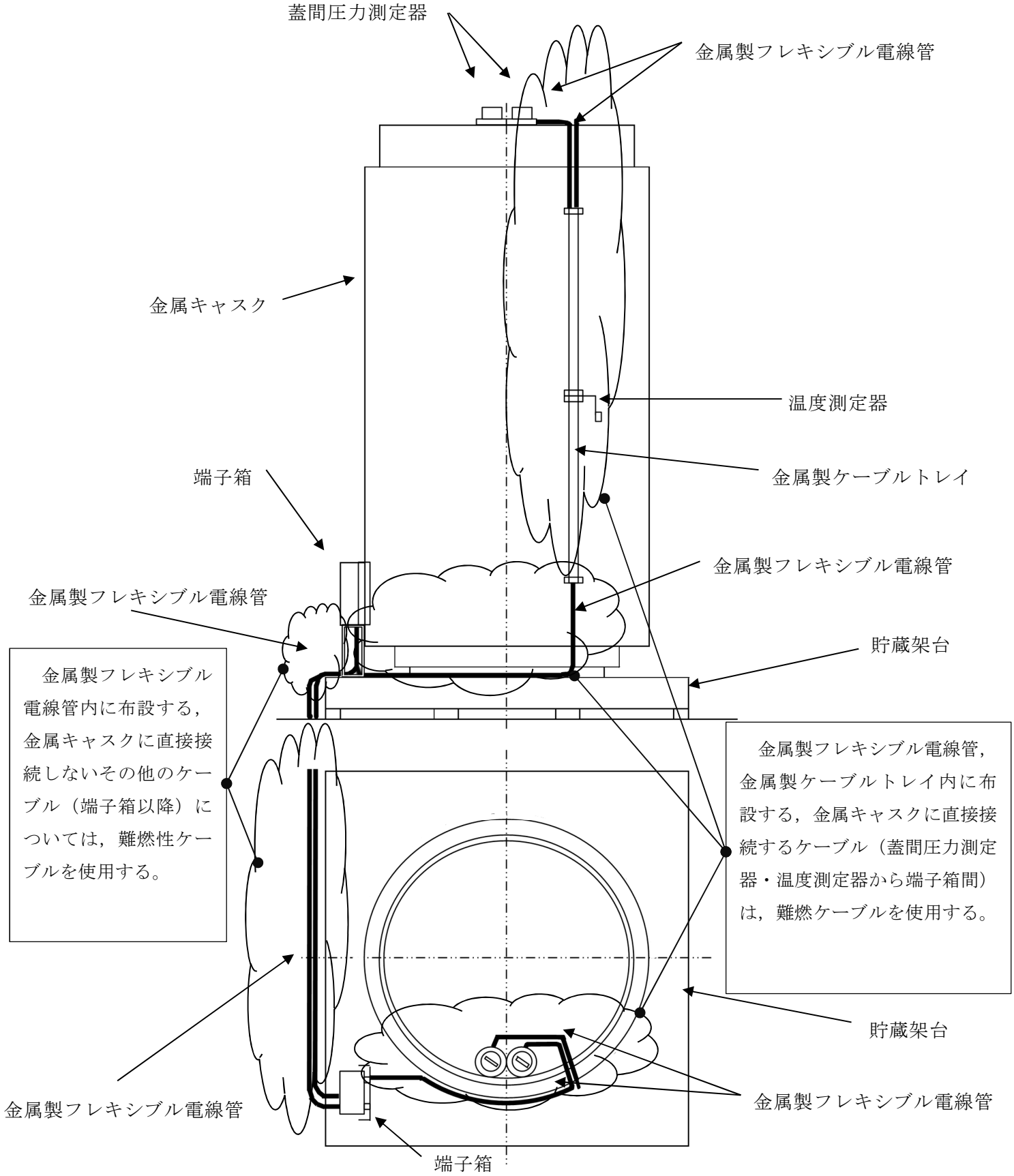
対応する警備員を含む）で対応する。

b．警備員が常駐する場所に複数の通信連絡設備を設置し，火災発生時は直ちに公設消防に通報する。

c．平日通常時間帯，平日夜間及び休祝祭日の火災警報発生時の通報連絡及び消火体制を定めている。

d．平日通常時間帯，平日夜間及び休祝祭日の火災発見時の通報連絡及び消火体制を定めている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



第１図　難燃ケーブル及び難燃性ケーブルの布設範囲について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１

使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能

○使用済燃料貯蔵施設における基本的安全機能を有する施設は，使用済燃料貯蔵建屋（コンクリート製）と静的機器の金属キャスクである。金属キャスクは単体で，基本的安全機能（閉じ込め・遮蔽・臨界防止・除熱）を有している（別添１－１図参照)。

○金属キャスク本体へ接続するケーブルは金属キャスクに接触しているが，UL垂直燃焼試験により自己消火性を，また，IEEE383 垂直トレイ試験により延焼性が確認された難燃ケーブルを使用する。

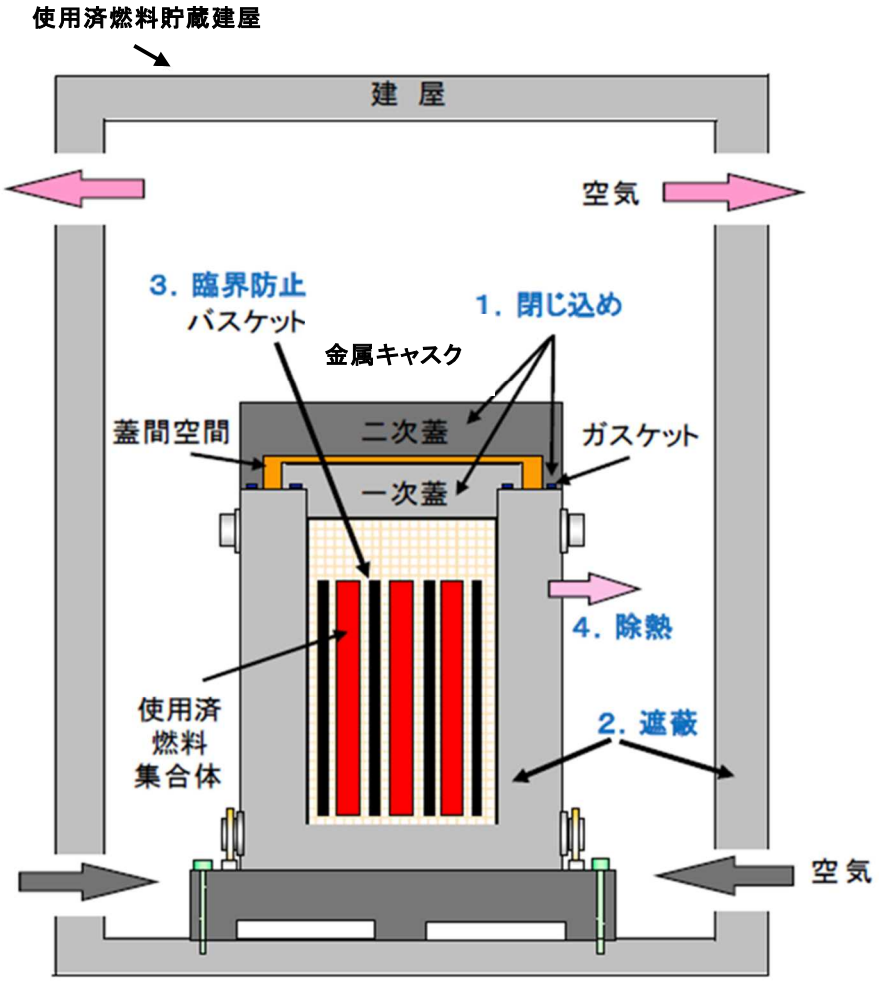
また，金属キャスク周囲に可燃物はなく，１ｍ以上離れたトレイに布設しているケーブルも難燃性規格のものである。それらのケーブルが燃焼した場合を評価しても，金属キャスクの温度上昇は，11℃程度（添付１参照）であり，金属キャスクの遮蔽機能（レジン)，閉じ込め機能（金属ガスケット）へ影響を与えることはない。

添付２に貯蔵区域の火災荷重を示す。

○使用済燃料貯蔵建屋は，３時間耐火能力を有したコンクリート壁で構成しており，燃えることはなく，また，防火壁を設定しており，火災の影響を軽減している。使用済燃料貯蔵建屋内に設置されている盤・ダクト類は不燃のものを用いていること，持ち込み物品も最小限のものとすることから，火災が使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能に影響を及ぼすことはない。

○実用発電用原子炉の「原子炉の安全機能（原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持のために必要な機能，並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能)」は，様々な構築物・系統・機器から構成されており，ケーブルが燃焼した場合，電源・信号の喪失により冷却機能へ影響する場合があり，火災防護の対応はより複雑になる（別添２参照)。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添１－１図　使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

貯蔵区域布設ケーブルの火災時のキャスクへの影響評価について

貯蔵区域壁面のケーブルトレイに布設されているケーブル火災のキャスクへの影響評価を行った。

評価の結果，温度上昇は11℃程度であり，金属キャスクの遮蔽機能（レジン），閉じ込め機能（金属ガスケット）へ影響を与えることはない。

○評価対象

使用済燃料貯蔵建屋北東の１区画を評価対象として選定した（添付２－１図，２図の一点鎖線の範囲）。　北東の１区画は，北側壁面のケーブルの他に受入れ区域へ繋がる垂直トレイが設置されているためケーブル物量が多い。

○評価条件

評価の前提として，保守的な評価をするために，対象区画のケーブルトレイに布設されているケーブルが瞬時に燃焼し，熱エネルギーは全てふく射エネルギーに変換されるものとした。

また，貯蔵区域内ケーブルトレイと対象キャスクの位置関係から算定される形態係数を考慮したふく射エネルギーが，対象キャスク１体に到達するものとした。

○評価モデル

形態係数の算定にあたっては，直方体火炎モデルを用いた。

○ケーブル熱量

ケーブルの熱量については，ケーブルトレイの寸法から算定したケーブル長と，布設されているケーブル仕様と同種素材の発熱量（引用資料：Fire Protection Handbook 20th Edition）を基に，形態係数を考慮し算定した。

・形態係数を考慮したケーブル熱量≒456MJ

○計算結果

・456[MJ]（形態係数を考慮したケーブル熱量）÷41.85[MJ/K]（キャスクの熱容量）≒11[K]

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

貯蔵区域の火災荷重について

＜貯蔵区域の火災荷重について＞

貯蔵区域北側１区画の可燃物を基に貯蔵区域火災荷重を算出する。

（貯蔵区域は，添付２－１図（実線及び点線の範囲）のとおり６区画あり，区画内には，ほぼ同様の盤が設置されている。

しかし，貯蔵区域の北側１区画（添付２－１図実線の範囲，添付２－２図）は，他の区画（添付２－１図点線の範囲）と異なり，東西壁面の他に北側壁面にもケーブルが布設されている。よって，保守的に貯蔵区域北側１区画（添付２－１図実線の範囲，添付２－２図）を選定し，火災荷重を算出する。）

○ 貯蔵区域北側１区画の可燃物

・ケーブル

・圧力変換器給電盤（隣接区画はＰＩＯ装置）

・ガンマ線エリアモニタ

・中性子線エリアモニタ

・現場警報器

・電灯分電盤

・オートリーラ（照明保守用の昇降装置）

合計重量＝約４，６８７kg　・・・・a

○ 貯蔵区域北側１区画の面積

・約１００５㎡・・・・b

○ 発熱量

可燃物の多くがケーブルであることから，ＰＶＣの熱量を基に火災荷重を求める。

・ＰＶＣ＝２６．７５MJ /kg・・・・c

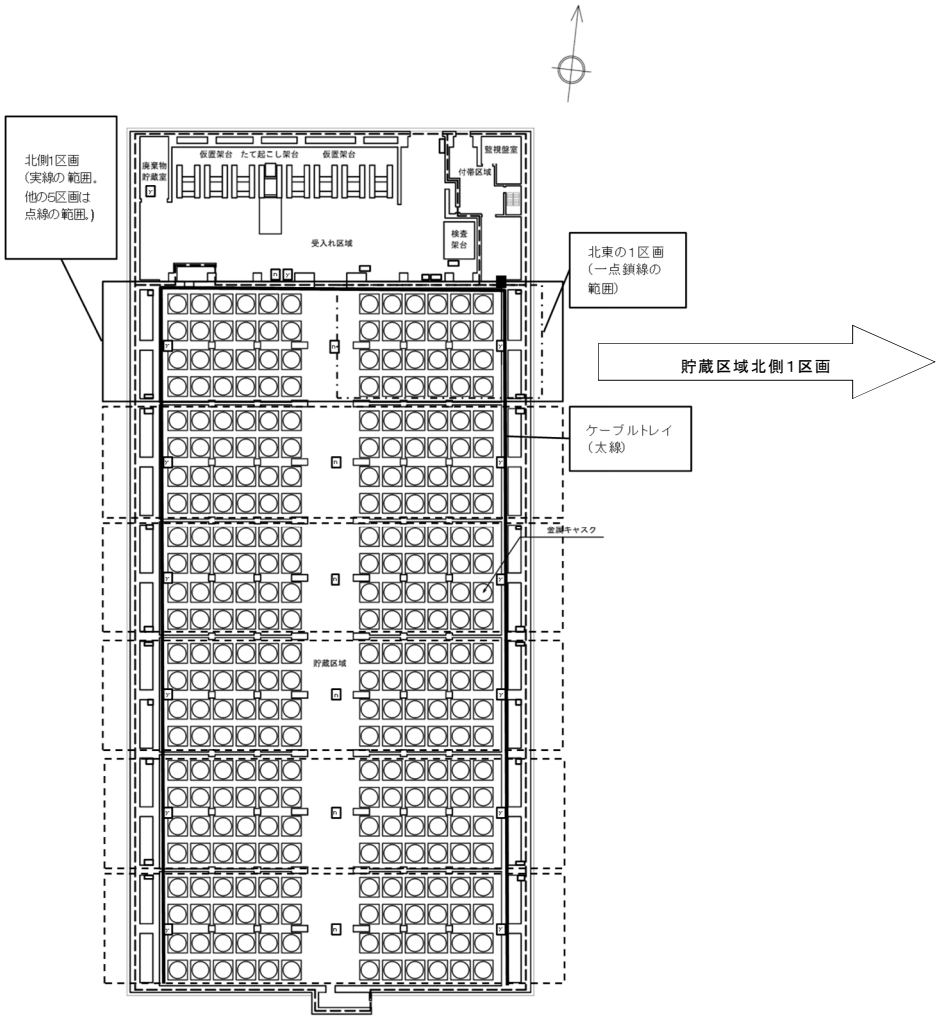
（引用資料：Fire Protection Handbook 20th Edition）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

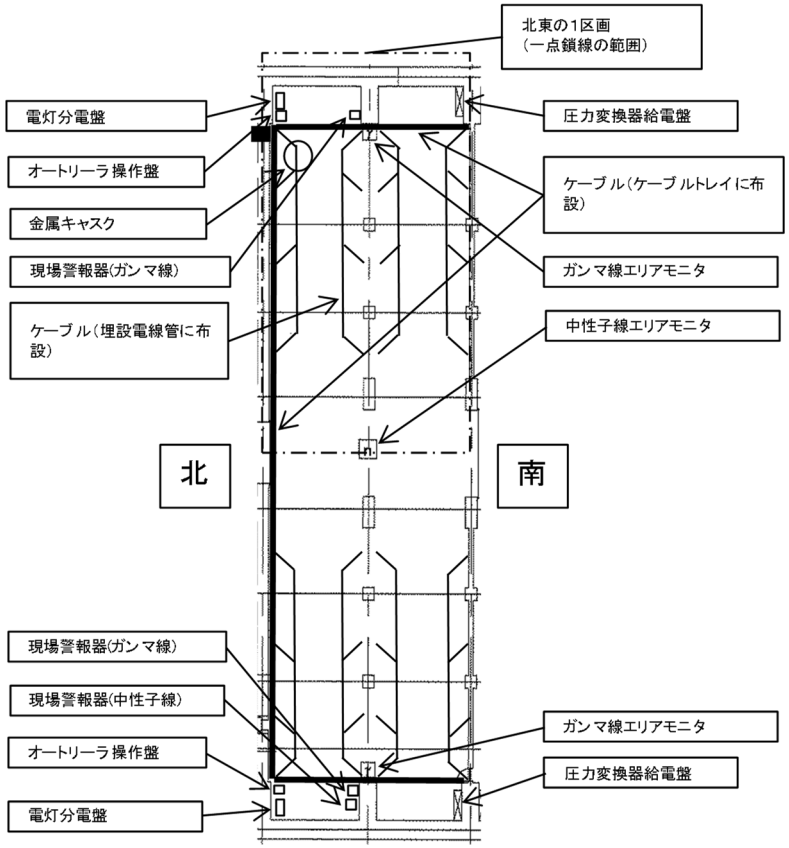
☆ 貯蔵区域の火災荷重：　ａ÷ｂ≒５kg/㎡　単位面積当たりの可燃物量は，約５kg/㎡

単位面積当たりの発熱量は，　（ａ÷ｂ）×ｃ≒125MJ/㎡（火災荷重（単位面積当りの発熱量）　原子力発電所の内部火災影響評価ガイドより））

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



添付２－１図 使用済燃料貯蔵建屋全体



添付２－２図 貯蔵区域北側１区画の可燃物

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２

原子炉施設の安全機能

火災防護に係る原子炉施設の安全機能を有する機器等の例

原子炉施設の異常状態の発生を防止し，又はこれの拡大を防止するために必要なものである設計基準対象施設のうち，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持（以下，「原子炉の安全停止」という。）のために必要な構築物，系統及び機器，並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め（以下，「放射性物質貯蔵等」という。）機能を有する構築物，系統及び機器を「安全機能を有する機器等」として選定する。

原子炉の安全停止に必要な機器等	放射性物質貯蔵等の機器等
原子炉施設において，原子炉の安全停止のために必要な機能を確保するために必要な機能を確保するための構築物，系統及び機器を「原子炉の安全停止に必要な機器等」として選定する。	原子炉施設において，放射性物質貯蔵等の機能を確保するための構築物，系統及び機器を「放射性物質貯蔵等の機器等」として選定する。
・原子炉冷却材圧力バウンダリ機能 ・過剰反応度の印加防止機能 ・炉心形状の維持機能 ・原子炉の緊急停止機能 ・未臨界維持機能 ・原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能 ・原子炉停止後の除熱機能 ・炉心冷却機能 ・工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 ・安全上特に重要な関連機能 ・安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能 ・事故時のプラント状態の把握機能 ・制御室外からの安全停止機能	・放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能 ・燃料プール水の補給機能 ・放射性物質放出の防止機能 ・放射性物質の貯蔵機能

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添３

火災防護設計の基本方針

使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則

（火災等による損傷の防止）

第七条 使用済燃料貯蔵施設は,火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。

一 火災及び爆発の発生を防止すること。

二 火災及び爆発の発生を早期に感知し，及び消火すること。

三 火災及び爆発の影響を軽減すること。

使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈

第７条（火災等による損傷の防止）

１ 第７条の規定の適用に当たっては,以下の措置を適切に組み合わせたものであること。

一 使用済燃料貯蔵施設は,実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する設計であること。

二 使用済燃料貯蔵施設において可燃性物質を使用する場合は,火災及び爆発の発生を防止するため，着火源の排除，異常な温度上昇の防止対策，可燃性物質の漏えい防止及び漏れ込み防止対策等の措置を講じた設計であること。

三 使用済燃料貯蔵施設は，火災及び爆発の拡大を防止するために，火災及び爆発を検知するための設備，警報設備，消火設備等が設けられているとともに，火災及び爆発の発生による影響低減のための措置を講じた設計であること。

従来の設備設計

① 従来の「使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」において，技術要求があり設備対応を図ってきた。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

②「消防法」,「建築基準法」に準拠し設備対応を図ってきた。

新規制基準を受けた火災防護対策

① 新規制基準を受けた火災防護設計に変更はない。

②「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」の要求に基づき対応している。

③「消防法」,「建築基準法」に準拠し設備対応している。

「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」に以下のように定義されている。

「基本的安全機能」とは，安全機能のうち，次に掲げる機能の総称をいう。

イ　臨界防止機能（使用済燃料が臨界に達することを防止する機能をいう。）

ロ　遮蔽機能（公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすことのないよう，金属キャスクに封入された使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物（以下「使用済燃料等」という。）からの放射線を遮蔽する機能をいう。）

ハ　閉じ込め機能（公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすことのないよう，金属キャスクに封入された使用済燃料等を閉じ込める機能をいう。）

ニ　除熱機能（使用済燃料の健全性及び金属キャスクを構成する部材の健全性を維持するよう，金属キャスクに封入された使用済燃料等の崩壊熱を除去する機能をいう。）

使用済燃料貯蔵施設の火災防護に係る設計基本方針

(1) 従来の使用済燃料貯蔵施設の火災等による損傷の防止

・「使用済燃料中間貯蔵施設に関する安全審査指針」（指針 15）の要求を受け，施設に対する火災防護設計を講じてきた。

・「消防法」及び「建築基準法」に基づいて火災防護設計を講じてきた。

(2) 新規制基準を受けた要求事項

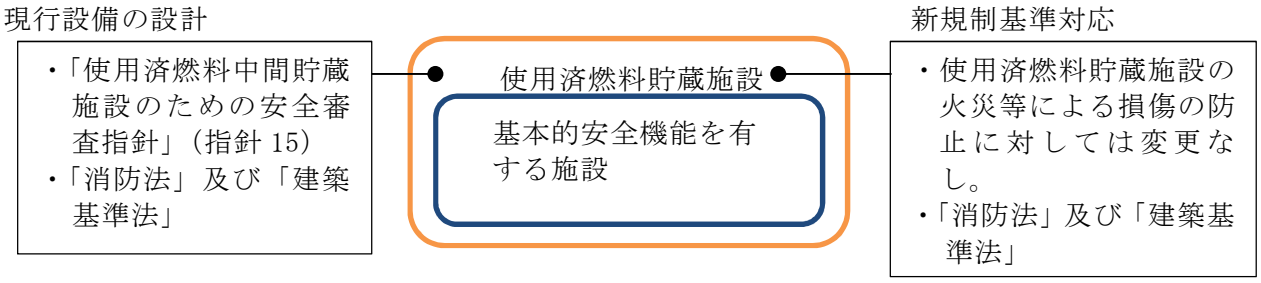
使用済燃料貯蔵施設の火災等による損傷の防止については，「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」及びその解釈で変更がないことを確認した。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3) 火災防護設計の確認

従来から講じてきた，火災防護設計と「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」を参考に比較整理を行い，火災又は爆発により使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，規則の措置を組み合わせた設計としていることを確認した。

なお，実用発電用原子炉の火災防護は，「原子炉の安全機能（原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持のための機能，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，系統及び機器を火災から防護することを目的としており，様々な構築物等が対象となるが，使用済燃料貯蔵施設における基本的安全機能を確保する上で必要な施設は，基本的安全機能を有する使用済燃料貯蔵建屋，金属キャスク，及び貯蔵架台，受入れ区域天井クレーン，搬送台車である。



使用済燃料貯蔵施設における火災防護設計の考え方

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針

指針 15．火災・爆発に対する考慮

使用済燃料中間貯蔵施設は，火災・爆発の発生を防止し，かつ，万一の火災・爆発時には，その拡大を防止するとともに，施設外への放射性物質の放出が過大とならないための適切な対策が講じられていること。

１．使用済燃料中間貯蔵施設は，実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用する設計であること。

２．使用済燃料中間貯蔵施設において可燃性物質を使用する場合は，火災・爆発の発生を防止するため,着火源の排除,異常な温度上昇の防止対策,可燃性物質の漏洩防止及び洩れ込み防止対策等適切な対策が講じられていること。

３．火災の拡大を防止するために，適切な検知，警報系統及び消火設備が設けられているとともに，火災による影響低減のために適切な対策が講じられていること。

適合のための設計方針

火災・爆発により使用済燃料中間貯蔵施設の安全性が損なわれることを防止するために，火災発生防止，火災検知及び消火，火災の影響の軽減の３方策を適切に組み合わせた措置を講ずる。

１．　について

使用済燃料中間貯蔵施設は，実用上可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とする。

２．　について

(1) 可燃性物質を使用する機器の付近，あるいは使用する区域では，着火源となるものの排除を行う。また，可燃性物質を取り扱う機器には，漏えい防止対策を行う設計とする。

(2) 落雷による火災発生を防止するため避雷設備を設ける設計とする。

３．　について

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(1) 万一の火災発生に備えて，必要な箇所に自動火災報知設備を設置するとともに，消火器を配備する。また，自動火災報知設備は，「消防法」に基づき，外部電源が喪失した場合でもその機能を失わない設計とする。

(2) 自動火災報知設備は，地震等の自然現象によっても，その性能が著しく阻害されることがない設計とする。

(3) 使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域，受入れ区域，付帯区域をコンクリート壁により区画するとともに，「建築基準法」に基づく防火区画を設ける。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

火災防護に係る審査基準との比較

・「使用済燃料中間貯蔵施設に関する安全審査指針」（指針 15），「消防法」及び「建築基準法」の要求を受け，施設に対する火災防護設計を講じてきた。
・使用済燃料貯蔵施設の火災等による損傷の防止については，「使用済燃料中間貯蔵施設に関する安全審査指針」（指針 15）と「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」及びその解釈で変更がないことを確認した。
・「実用発電用原子炉及びその付属施設の火災防護に係る審査基準」は，直接の要求事項ではないが，比較整理を行い，使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，規則の措置を組み合わせた設計としていることを確認した。
※　実用炉審査基準：「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」
※※　使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等：「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」，「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」，「建築基準法」，「建築基準法施行令」，「消防法」，「消防法施行令」，「消防法施行規則」
※※※　比較結果：実用炉審査基準の各項は，規則等と比較し「要求事項に変更なし」であるのか，「実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外」であるのか等について記載。内訳があるものは「－」と記載。

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
２．１　火災の発生防止			
２．１．１ 原子炉施設は火災の発生を防止するために以下の各号に掲げる火災防護対策を講じた設計であること。	「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」 （火災等による損傷の防止） 第七条 使用済燃料貯蔵施設は，火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。 一 火災及び爆発の発生を防止すること。（以下「規則第七条第１項第一号」という。） 「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」 １　第７条の規定の適用に当たっては，以下の措置を適切に組み合わせたものであること。 一　使用済燃料貯蔵施設は，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する設計であること。（以下「解釈第７条第１項第一号」という。） 二　使用済燃料貯蔵施設において可燃性物質を使用する場合は，火災及び爆発の発生を防止するため，着火源の排除，異常な温度上昇の防止対策，可燃性物質の漏えい防止及び漏れ込み防止対策等の措置を講じた設計であること。（以下「解釈第７条第１項第二号」という。）	―	使用済燃料貯蔵施設では，基本的安全機能が損なわれないよう，火災の発生等を防止するために，以下のとおり，火災防護対策を講じた設計としている。
（１）発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域は，以下の事項を考慮した，火災の発生防止対策を講じること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	―	金属キャスクは不燃物であるが，基本的安全機能が損なわれないよう，以下のとおり火災の発生防止対策を講じた設計としている。 貯蔵区域及び受入れ区域を火災区域として設定している。
① 漏えいの防止，拡大防止 発火性物質又は引火性物質の漏えいの防止対策，拡大防止対策を講じること。ただし，雰囲気の不活性化等により，火災が発生するおそれがない場合は，この限りでない。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	要求事項に変更なし	潤滑油又はグリスを内包する機器について，密閉構造の軸受け採用により漏えいを防止している。また，漏えいの拡大を防止するため，漏えい液受皿を設置して漏えいによる拡大を防止している。 規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号
② 配置上の考慮 発火性物質又は引火性物質の火災によって，原子炉施設の 安全機能を損なうことがないように配置すること。	建築基準法施行令第 112 条（防火区画） 主要構造部を耐火構造又は準耐火構造等とした建築物は，原則として，床面積 1,500㎡以内ごとに防火区画しなければならない。	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	貯蔵区域及び受入れ区域を火災区域として設定し，耐火壁を設けた貯蔵区域に金属キャスクを配置する。
③ 換気 換気ができる設計であること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。なお，貯蔵区域及び受入れ区域は，自然換気を行う設計としている。
④ 防爆 防爆型の電気・計装品を使用するとともに，必要電気設備に接地を施すこと。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
⑤ 貯蔵 安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域における発火性物質又は引火性物質の貯蔵は，運転に必要な量にとどめること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（２）可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがある火災区域には，滞留する蒸気又は微粉を屋外の高所に排出する設備を設けるとともに，電気・計装品は防爆型とすること。 また，着火源となるような静電気が溜まるおそれのある設備を設置する場合には，静電気を除去する装置を設けること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがある火災区域はない。 貯蔵区域及び受入れ区域を火災区域として設定している。

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
（3）火花を発生する設備や高温の設備等発火源となる設備を設置しないこと。ただし，災害の発生を防止する附帯設備を設けた場合は，この限りでない。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	火花を発生する設備や高温の設備で発火源となる設備はない。
（4）火災区域内で水素が漏えいしても，水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように，水素を排気できる換気設備を設置すること。また，水素が漏えいするおそれのある場所は，その漏えいを検出して中央制御室にその警報を発すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	火災区域において，水素が漏えいするおそれがある設備はない。 貯蔵区域及び受入れ区域を火災区域として設定している。
（5）放射線分解等により発生し，蓄積した水素の急速な燃焼によって，原子炉の安全性を損なうおそれがある場合には，水素の蓄積を防止する措置を講じること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	放射線分解により水素が発生することはない。
（6）電気系統は，地絡，短絡等に起因する過電流による過熱防 止のため，保護継電器と遮断器の組合せ等により故障回路の早期遮断を行い，過熱，焼損の防止する設計であること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	電気系統は，「電気設備に関する技術基準を定める省令」に基づき，過電流継電器の保護継電器と遮断器の組合せにより故障機器系統の早期遮断を行い，過負荷や短絡に起因する過熱，焼損による電気火災を防止する設計としている。
２．１．２ 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，以下の各号に掲げるとおり，不燃性材料又は難燃性材料を使用した設計であること。ただし，当該構築物，系統及び機器の材料が，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（以下「代替材料」という。）である場合，もしくは，当該構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して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は，この限りではない。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	—	基本的安全機能を有する構築物，系統及び機器は，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用した設計としている。
（1）機器，配管，ダクト，トレイ，電線管，盤の筐体，及びこれらの支持構造物のうち，主要な構造材は不燃性材料を使用すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	要求事項に変更なし	機器（金属キャスク，貯蔵架台等），配管，ダクト，ケーブルトレイ，電線管，盤の筐体及びこれらの支持構造物のうち主要な構造材は，金属製の不燃性材料を使用している。 規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号
（2）建屋内の変圧器及び遮断器は，絶縁油等の可燃性物質を 内包していないものを使用すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第二号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	絶縁油を内包する変圧器及び遮断器はない。
（3）ケーブルは難燃ケーブルを使用すること。 （実証試験の例） ・自己消火性の実証試験 UL 垂直燃焼試験 ・延焼性の実証試験 IEEE383 または IEEE1202	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	要求事項に変更なし ただし，実証試験については実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	金属キャスクの上部に設置する蓋間圧力測定器及び表面温度測定器と下部の端子箱間を接続するケーブルは，自己消火性についてUL 垂直燃焼試験の試験規格に適合するとともに，延焼性についてIEEE383，IEEE1202 の試験規格に適合した難燃ケーブル，又はそれらの試験規格に基づく実証試験に合格した難燃ケーブルを使用する設計とする。 規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号
（4）換気設備のフィルタは，不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。ただし，チャコールフィルタについては，この限りでない。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	要求事項に変更なし	貯蔵区域及び受入れ区域は，自然換気であり，換気装置フィルタはない。
（5）保温材は金属，ロックウール又はグラスウール等，不燃性のものを使用すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号 ・建築基準法第 68 条の 26（特殊構造方法等認定）	要求事項に変更なし	保温材は，不燃性材料を使用している。 規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号
（6）建屋内装材は，不燃性材料を使用すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号 ・消防法第９条の４（指定可燃物） 消火の活動が著しく困難となるものとして政令で定める。	要求事項に変更なし	貯蔵区域及び受入れ区域は，床及び壁の一部（床面から 1.6m の範囲）はエポキシ樹脂系塗料で，JIS K 7201（酸素指数法による高分子材料の燃焼試験方法）に定められた酸素指数 26 以上の不燃性を有する材料を使用している。 規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
２．１．３ 落雷，地震等の自然現象によって，原子炉施設内の構築物，系統及び機器に火災が発生しないように以下の各号に掲げる火災防護対策を講じた設計であること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	—	使用済燃料貯蔵建屋は，落雷，地震等の自然現象によって，構築物，系統及び機器に火災が発生しないように以下の各号に掲げる火災防護対策を講じた設計としている。
（１）落雷による火災の発生防止対策として，建屋等に避雷設備を設置すること。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号 ・建築基準法第 33 条（避雷設備） 高さ 20m を超える建築物には，有効に避雷設備を設けなければならない。 ・建築基準法施行令第 129 条の 14（設置），15（構造）	要求事項に変更なし	使用済燃料貯蔵建屋は，「建築基準法」に基づき，高さ 20m を超える使用済燃料貯蔵建屋には日本産業規格（JIS）に準拠する避雷設備を設置している。（JISA4201（建築物等の避雷設備（避雷針）））
（２）安全機能を有する構築物，系統及び機器は，十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに，自らが破壊又は倒壊することによる火災の発生を防止すること。なお，耐震設計については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の解（原規技発第 1306193 号（平成 25 年６月 19 日原子力規制委員会決定））に従うこと。	規則第七条第１項第一号 解釈第７条第１項第一号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	使用済燃料貯蔵建屋及び金属キャスクは，十分な支持性能をもつ地盤に設置し，自らの破壊又は倒壊による火災の発生を防止している。
２．２　火災の感知・消火			
２．２．１ 火災感知設備及び消火設備は，以下の各号に掲げるように，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設計であること。	「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」 （火災等による損傷の防止） 第七条 使用済燃料貯蔵施設は，火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。 二 火災及び爆発の発生早期に感知し，及び消火すること。 （以下「規則第七条第１項第二号」という。） 「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」 １　第７条の規定の適用に当たっては，以下の措置を適切に組み合わせたものであること。 三　使用済燃料貯蔵施設は，火災及び爆発の拡大を防止するために，火災及び爆発を検知するための設備，警報設備，消火設備等が設けられているとともに，火災及び爆発の発生による影響低減のための措置を講じた設計であること。 （以下「解釈第７条第１項第三号」という。）	—	火災感知設備及び消火設備は，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設計としている。
（１）火災感知設備 ① 各火災区域における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して型式を選定し，早期に火災を感知できる場所に設置すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号 ・消防法施行令 21 条 自動火災報知設備は，防火対象物又はその部分に設置するものとする。倉庫で延面積 500 ㎡以上は設置が必要。	要求事項に変更なし	貯蔵区域，受入れ区域の各火災区域においては，「消防法施行規則第 23 条の警報設備に関する基準」に則り，火災感知器を設置している。 また，早期に火災を感知できるよう，各室における取付面高さ，温度及び霧が発生する環境条件や，火災は炎が生じる前に発煙する，火災が発生すると温度が上昇する，及び煙は霧や靄の影響を受けると感知が困難である火災の性質を考慮して火災感知器の型式を選定している。 ・光電式分離型感知器 ・光電式スポット型感知器 ・差動式スポット型感知器
② 火災を早期に感知できるよう固有の信号を発する異なる種類の感知器又は同等の機能を有する機器を組合せて設置すること。また，その設置にあたっては，感知器等の誤作動を防止するための方策を講じること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	金属キャスクの基本的安全機能に影響を 傍になく，火災の検知が困難な閉鎖された場所はないため，固有の信号を発する異なる種類の感知器等は，設置せず，「消防法」に基づき火災感知器等の自動火災報知設備を設置している。
③ 外部電源喪失時に機能を失わないように，電源を確保する設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号 ・消防法施行規則第 24 条 自動火災報知設備の設置及び維持に関する技術上の基準の細目を定める。蓄電池設備は，（中略）その容量は，自動火災報知設備を有効に十分間作動することができる容量以上であること。	要求事項に変更なし	火災報知盤は外部電源が喪失しても有効な蓄電池（60 分間監視後に 10 分以上吹鳴）を有している。また，上記に加え，受変電施設に設置している無停電電源装置及び自主的に出入管理建屋に設置している無停電電源装置から給電される設計としている。

規則第七条第１項第一号
解釈第７条第１項第一号
規則第七条第１項第一号
解釈第７条第１項第一号
規則第七条第１項第二号
解釈第７条第１項第三号
規則第七条第１項第二号
解釈第７条第１項第三号

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
④ 中央制御室等で適切に監視できる設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	使用済燃料貯蔵建屋の火災警報は，センター員等が常駐する出入管理建屋の火災受信機及び監視盤室の表示機（副受信機）において表示，吹鳴する設計である。 また，事務建屋の火災受信機においても表示，吹鳴する設計としている。 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
（２）消火設備 ① 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または火災区画であって，火災時に煙の充満，放射線の影響等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こと。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
② 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，火災時に煙の充満，放射線の影響等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こと。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	基本的安全機能を確保する上で必要な施設を設置する火災区域である貯蔵区域及び受入れ区域は，上部が大気開放となっており煙が充満しない。また，放射線の影響により消火活動が困難となることはないため，固定式消火設備は設置していない。
③ 消火用水供給系の水源及び消火ポンプ系は，多重性又は多様性を備えた設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし ただし，消火ポンプ系の多重性又は多様性については実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	金属キャスクの基本的安全機能に影響する考慮すべき火災源は近傍にないため，水を使用する消火設備としての水源は必要ないと考えるが，法令要求として「消防法」に基づき水源を以下の通り確保している。 ②　　規定放水量：１㎥／分（＞0.4m3／分＝「消防法」要求） ②水源の水量：80 ㎥（40 ㎥×２基）（＞20 ㎥＝１㎥／分×20 分＝「消防法」要求） 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
④ 原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器相互の系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置される消火設備は，系統分離に応じた独立性を備えた設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
⑤ 消火設備は，火災の火炎，熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，断線，爆発等による二次的影響が安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさないように設置すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災に対して，消火活動を早期に行えるように消火器，動力消防ポンプ，防火水槽を適切に配置することにより，基本的安全機能を有する構築物，系統及び機器に火災の二次的悪影響が及ばないようにしている。
⑥ 可燃性物質の性状を踏まえ，想定される火災の性質に応じた十分な容量の消火剤を備えること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号 ・消防法施行令第 10 条 延べ面積 150 ㎡以上に該当するため消火器具設置 ①消火器具能力単位（一般火災） 41≧延べ面積 8,030 ㎡／200 ㎡ ②歩行距離 20m以内に設置 ・消防法施行令第 11 条 延べ面積 1,400 ㎡以上（準耐火構造で内装制限したもの）≦延べ面積 8,030 ㎡のため屋内消火栓設備が必要であるが，「動力消防ポンプ設備」を設置するため，第４項の規定により屋内消火栓は設置しないことができる。 ・消防法施行令第 20 条 動力消防ポンプ設備に関する基準 ①規格放水量：0.4 ㎥／分以上 ②水源の水量：規格放水量で 20 分間放水できる量，但し水量が 20 ㎥以上となる場合は 20 ㎥としてよい。	要求事項に変更なし	貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災の性質に応じた十分な容量の消火剤を備えている。 ①ＡＢＣ粉末 10 型消火器（薬剤量３kg）：43 台 （一般火災消火能力：129＝３×43 台） ②大型（ＡＢＣ粉末 50 型）消火器（薬剤量 20kg）：２台 ③化学泡消火器（薬剤量 96ℓ）：２台 ④動力消防ポンプ（１㎥／分）：１台 消火用水（防火水槽）：２個所（80 ㎥：40 ㎥×２） 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
⑦ 移動式消火設備を配備すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	車両に搭載して移動できる動力消防ポンプを配備している。
⑧ 消火剤に水を使用する消火設備は，２時間の最大放水量を確保できる設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	金属キャスクの基本的安全機能に影響する考慮すべき火災源は，近傍にないため，水を使用する消火設備としての水源は必要ないと考えるが，法令要求として「消防法」に基づき水源を以下の通り確保している。 ①規定放水量：１㎥／分（＞0.4 ㎥／分＝「消防法」要求） ②水源の水量：80 ㎥（40 ㎥×２基）（＞20 ㎥＝１㎥／分×20 分＝「消防法」要求）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
⑨ 消火用水供給系をサービス系または水道水系と共用する場合には，隔離弁等を設置して遮断する等の措置により，消火用水の供給を優先する設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	消火用水供給系は，水道水系と共用しているが，隔離弁にて遮断する措置により，消火用水の供給を優先する構造としている。
⑩ 消火設備は，故障警報を中央制御室に吹鳴する設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
⑪ 消火設備は，外部電源喪失時に機能を失わないように，電源を確保する設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災の性質に応じて消火器及び動力消防ポンプを配備している。消火器及び動力消防ポンプは，外部電源を必要としない。 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
⑫ 消火栓は，全ての火災区域の消火活動に対処できるよう配置すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	使用済燃料貯蔵施設には，「消防法」に従い消火栓設備は設置していない。
⑬ 固定式のガス系消火設備は，作動前に職員等の退出ができるように警報を吹鳴させる設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	該当する設備はない。
⑭ 管理区域内で消火設備から消火剤が放出された場合に，放射性物質を含むおそれのある排水が管理区域外へ流出することを防止する設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	放射能汚染の可能性のある消火排水の発生はない。
⑮ 電源を内蔵した消火設備の操作等に必要な照明器具を，必要な火災区域及びその出入通路に設置すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号 ・消防法施行令第 26 条（誘導灯及び誘導標識に関する基準） 誘導灯及び誘導標識は防火対象物又はその部分に設置するものとする。	要求事項に変更なし	使用済燃料貯蔵建屋には，外部電源が喪失した場合においても，蓄電池から給電する避難口誘導灯と通路誘導灯を設置しており，また，所轄消防署との協議に基づき受変電施設に設置している無停電電源装置より給電される保安灯を設置している。 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
２．２．２ 火災感知設備及び消火設備は，以下の各号に示すように，地震等の自然現象によっても，火災感知及び消火の機能，性能が維持される設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	—	使用済燃料貯蔵建屋の火災感知設備及び消火設備は，以下に示すように，地震等の自然現象によっても，火災感知及び消火の機能，性能が維持される設計としている。
（１）凍結するおそれがある消火設備は，凍結防止対策を講じた設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	消火用水の防火水槽は，冬場の凍結（凍結深度 GL-55cm）を考慮して埋設している。 「実務者のための積雪寒冷地建築技術資料Ⅱ」（日本建築士事務所協会連合会発行） 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
（２）風水害に対して消火設備の性能が著しく阻害されない設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	要求事項に変更なし	貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災の性質に応じて配備している消火器及び動力消防ポンプは風雨時の屋外で使用可能であり，建屋内に設置されていることから，風水害によって性能を阻害されることはない。 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
（３）消火配管は，地震時における地盤変位対策を考慮した設計であること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
２．２．３ 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，消火設備の破損，誤動作又は誤操作によって，安全機能を失わない設計であること。 また，消火設備の破損，誤動作又は誤操作による溢水の安全機能への影響について「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」により確認すること。	規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災の性質に応じて配備している消火器及び動力消防ポンプについては，その誤動作，誤操作によって水が放出する恐れはあるが，そのことによって，密封構造の金属キャスクの基本的安全機能を阻害することはない。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
２．３　火災の影響軽減			
２．３．１ 安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し，以下の各号に掲げる火災の影響軽減のための対策を講じた設計であること。	「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」 （火災等による損傷の防止） 第七条 使用済燃料貯蔵施設は，火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう，次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。 三 火災及び爆発影響を軽減すること。 （以下「規則第七条第１項第三号」という。） 「使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」 １　第７条の規定の適用に当たっては，以下の措置を適切に組み合わせたものであること。 三　使用済燃料貯蔵施設は，火災及び爆発の拡大を防止するために，火災及び爆発を検知するための設備，警報設備，消火設備等が設けられているとともに，火災及び爆発の発生による影響低減のための措置を講じた設計であること。 （以下「解釈第７条第１項第三号」という。）	—	使用済燃料貯蔵施設は，基本的安全機能が損なわれないよう，以下に記す火災の影響軽減のための対策を講じた設計としている。
（１）原子炉の高温停止及び低温停止に係わる安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域については，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こと。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（２）原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その 相互の系統分離及びこれらに関連する非安全系のケーブルとの系統分離を行うために，火災区画内又は隣接火災区画間の延焼を防止する設計であること。 具体的には，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルが次に掲げるいずれかの要件を満たしていること ａ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間が３時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離されていること。 ｂ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間の水平距離が 6m 以上 あり，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区 画に設置されていること。この場合，水平距離間には仮置きするものを含め可燃性物質が存在しないこと。 ｃ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間が１時間の耐火能力を有する隔壁等で分離されており，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（３）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については，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されていること。	規則第七条第１項第三号 解釈第７条第１項第三号 ・建築基準法施行令第 112 条（防火区画）主要構造部を耐火構造又は準耐火構造等とした建築物は，原則として，床面積 1,500m2 以内ごとに防火区画にしなければならない。	要求事項に変更なし	火災区域は，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と分離している。 なお，火災区域を構成する火災区画は耐火壁，防火扉，防火防炎シャッタ，貫通部シールを設置している。 規則第七条第１項第二号 解釈第７条第１項第三号
（４）換気設備は，他の火災区域の火，熱，又は煙が安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域に悪影響を及ぼさないように設計すること。また，フィルタの延焼を防護する対策を講じた設計であること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	貯蔵区域及び受入れ区域は，自然換気を行う設計としている。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
（5）電気ケーブルや引火性液体が密集する火災区域及び中央制御室のような通常運転員が駐在する火災区域では，火災発生時の煙を排気できるように排煙設備を設置すること。なお，排気に伴い放射性物質の環境への放出を抑制する必要が生じた場合には，排気を停止できる設計であること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（6）油タンクには排気ファン又はベント管を設け，屋外に排気できるように設計されていること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
2．3．2 原子炉施設内のいかなる火災によっても，安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には，火災による影響を考慮しても，多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉を高温停止及び低温停止できる設計であること。 また，原子炉の高温停止及び低温停止が達成できることを，火災影響評価により確認すること。	—	—	該当する設備はない。
3．個別の火災区域又は火災区画における留意事項	—	—	—
火災防護対策の設計においては，2．に定める基本事項のほか，安全機能を有する構築物，系統及び機器のそれぞれの特徴を考慮した火災防護対策を講じること。	—	—	貯蔵区域及び受入れ区域における火災区域又は火災区画は，以下のとおりそれぞれの特徴を考慮した火災防護対策を実施する。
（1）ケーブル処理室 ① 消防隊員のアクセスのために，少なくとも二箇所の入口を設けること。 ② ケーブルトレイ間は，少なくとも幅0.9m，高さ1.5m分離すること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（2）電気室を他の目的で使用しないこと。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（3）蓄電池室 ① 蓄電池室には，直流開閉装置やインバーターを収容しないこと。 ② 電池室の換気設備が，2%を十分下回る水素濃度に維持できるようにすること。 ③ 換気機能の喪失時には制御室に警報を発する設計であること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（4）ポンプ室 煙を排気する対策を講じること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（5）中央制御室等 ① 周辺の部屋との間の換気設備には，火災時に閉じる防火ダンパを設置すること。 ② カーペットを敷かないこと。ただし，防炎性を有するものはこの限りではない。 なお，防炎性については，消防法施行令第4条の3によること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	該当する設備はない。
（6）使用済燃料貯蔵設備，新燃料貯蔵設備消火中に臨界が生じないように，臨界防止を考慮した対策を講じること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	金属キャスクは，蓋部を一次蓋及び二次蓋の多重の閉じ込め構造としており，消火作業が，基本的安全機能（臨界）に影響を及ぼすことはない。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

実用炉審査基準　※	使用済燃料貯蔵施設の火災防護設計に関する規則等　※※	比較結果 ※※※	使用済燃料貯蔵施設としての対応
（7）放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備 ① 換気設備は，他の火災区や環境への放射性物質の放出を防ぐために，隔離できる設計であること。 ② 放水した消火水の溜り水は汚染のおそれがあるため液体放射性廃棄物処理設備に回収できる設計であること。 ③ 放射性物質を含んだ使用済イオン交換樹脂，チャコールフィルタ及びHEPA フィルタなどは，密閉した金属製のタンク又は容器内に貯蔵すること。 ④ 放射性物質の崩壊熱による火災の発生を考慮した対策を講じること。	—	実用炉特有の設備であり使用済燃料貯蔵施設は適用外	①廃棄物貯蔵室に保管する廃棄物は，ドラム缶に封入するため，換気の必要がない。 ②廃棄物貯蔵室に保管する廃棄物は，ドラム缶に封入するため，消火水が汚染することはない。 ③使用済イオン交換樹脂，チャコールフィルタ及びHEPA フィルタ等の廃棄物等は発生しない。 ④崩壊熱が生じる廃棄物は発生しない。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５

火災防護に係る運用等について

1.　可燃物持ち込みに対する運用

規則第七条第１項第一号，二号　　解釈第７号第１項第二号，三号

(1)　使用済燃料貯蔵建屋内の作業及び作業に伴い持ち込む可燃性物品による火災等の可能性又は蓋然性を別添５－１表に示す。

(2)　使用済燃料貯蔵建屋内に作業のために持ち込む電気製品は，金属製の箱等で覆われているため，外部から着火する蓋然性は小さく，内部の過熱燃焼時も外部に煙が出る程度で収まるが以下の対策により内部の過熱を防止する。

(3)　過電流（短絡），過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムを使用し，コンセントに電気を供給している分電盤の配線用遮断器が動作する前に電源を遮断する。

(4)　接地線の取り付け・接続を義務付け，接地線の取り付けができない２芯コード・プラグ及び電工ドラムの持ち込みを禁止する。

(5)　使用済燃料貯蔵建屋内に作業のために持ち込む物品のうち可燃性蒸気が発生する可能性のある塗料等は必要な量のみ持ち込むようにする。

(6)　受入れ区域に可燃性物質等を持ち込んで作業を実施する場合は，金属キャスクの搬入及び搬出作業を除き，金属キャスクが置かれていない間に実施する。

　貯蔵区域に可燃性物質等を持ち込んで作業を実施する場合は，作業の終了及び一時中断時に無人の状態で留め置かないように，貯蔵区域外への持ち出し又は監視あるいは金属製の容器に収納する。

(7)　受入れ区域で実施する金属キャスクの搬入及び搬出作業では，軽油量最大約 300ℓ の燃料タンクを有する金属キャスクを運搬するためのキャスク輸送車両を使用する。軽油の性質により火災が発生する蓋然性は小さいが以下の作業管理により更に火災の発生を防止する。

a.　キャスク輸送車両には金属キャスクの輸送に必要な量の燃料を給油する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

b.　軽油の漏えいに備えて，キャスク輸送車両に約 38ℓ 分の油吸着シート及び中和剤を約２ℓ 用意する。また，運搬時には受入れ区域に必要数量分の油吸着シート及び収納容器を用意する。

c.　キャスク輸送車両は定期点検整備はもとより，金属キャスクの運搬前の点検を実施する。また，受入れ区域に立入る前に作業関係者による点検及び警備員による検査を実施し，複数の異なる視点で点検してから受入れ区域に立ち入る。

d.　キャスク輸送車両の外側に緊急停止釦を設置し，逸走等の異常時にはキャスク輸送車両の周囲にいる作業関係者が高速では走行できない（最高約 10 km/h，構内では５km/h 以下の最徐行で走行）よう，キャスク輸送車両に追いついて停止させる。


緊急停止釦

e.　キャスク輸送車両が立ち入る受入れ区域には，キャスク輸送車両の燃料量（最大 300ℓ，必要量の給油により受入れ区域に立入る際は 300ℓ未満となる。）に比べて大きい消火能力となる消火器を配備する。

配備消火器種類	消火能力単位（油火災）：a	配備数量：b	消火能力：c＝a×b	ガソリンの量：６×c〔ℓ〕※
粉末消火器（薬剤量３kg）	７	５	３５	２１０
大型粉末消火器（薬剤量 20 kg）	２０	２	４０	２４０
化学泡消火器	２０	２	４０	２４０
合計	－	－	１１５	６９０

※消火能力は消火模型の容器（金属製のオイルパン等）の大きさにより表し，１単位あたり一片の寸法が 44.7 cmの正方形の容器（約 2000 ㎠）に水を 12 cm，ガソリンを３cmの深さになるように入れて確認するため，ガソリンの量としては約６ℓとなる。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(8)　使用済燃料貯蔵建屋内で電動砥石（グラインダ）作業を実施する場合は以下の措置を講じて火災の発生を防止する。

a.　火花等が飛散する可能性のある場所を不燃物又は難燃物で区画し，消火器を設置する。

b.　残火確認を作業終了後 30 分間実施する。

c.　作業監督者又は監視員が区画内への立ち入りを作業関係者に限定する。

d.　作業監督者又は監視員が区画内への可燃物の持ち込みを禁止する。

(9)　ガス溶断作業及び電気溶接作業が必要な工事等を実施する際は厳重な対策を講じる。

a.　工事に係る認可申請等をする場合は，火災等の防止措置を含めて認可された方法で実施する。

b.　保安規定に基づく会議体で火災等の防止措置を精査して実施する。

2.　火災防護対策を実施するための体制について

(1)　消火体制

使用済燃料貯蔵建屋を含むリサイクル燃料備蓄センターで発生する火災に対し，自衛消防隊体制で対応する。なお，本体制は，24 時間体制で監視，巡視及び初期消火対応する警備員（以下，「警備員」という。）を含む。自衛消防隊体制を別添５－１図に示す。

(2)　通信連絡設備

警備員が常駐する場所に複数の通信連絡設備を設置し，火災発生時は直ちに公設消防に通報する。また，通信連絡設備を用いて自衛消防隊内の連絡等を行う。なお，通常の通信連絡設備を用いた通報連絡が行えない場合に備え，事務建屋に衛星携帯電話を設置する。

a.　通信連絡設備設置場所

正門守衛所，出入管理建屋及び事務建屋

b.　通信連絡設備

加入電話設備（ＰＨＳ端末，固定電話機），消防署専用固定電話機（正門守衛所のみ設置），携帯電話，衛星携帯電話（事務建屋のみ設置），社内電話設備（ＰＨＳ端末，固定電話機），警備用無線連絡設備

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(3)　通報連絡及び消火対応

a.　平日通常時間帯の火災警報発生時

火災警報が発生した場合の通報連絡経路を別添５－２図に，警備員の展開を別添５－６図，貯蔵区域の中間部分で火災が発生した場合の消防ホース展張経路及び人員配置を別添５－７図に示す。

(a)　警備責任者は火災警報の発生を確認した場合は,直ちに警備員に現場の確認を指示する。

(b)　警備責任者は警備員が現場確認を実施している旨を自衛消防隊長に報告する。また，正門守衛所及び出入管理建屋の警備員に火災発生に備えるように待機を指示する。

(c)　自衛消防隊長は自衛消防隊（別添５－１図）への待機指示及び一斉放送を実施する。

(d)　火災警報発生後の現場確認結果が誤報であった場合は以下のように対応する。

①　現場の状況を確認した警備員は火災の発生がないことを警備責任者に報告する。

②　警備責任者は誤報であることを自衛消防隊長に報告する。また，正門守衛所及び出入管理建屋の警備員に待機解除を指示する。

③　自衛消防隊長は自衛消防隊（別添５－１図）への待機解除指示及び一斉放送を実施する。

④　自衛消防隊は必要に応じて公設消防に誤報であることを連絡する。

(e)　火災警報発生後の現場確認結果が実火災であった場合は以下のように対応する。

①　現場で火災を確認した警備員は直ちに公設消防に状況を通報（第１報）する。公設消防への通報と共に警備責任者に状況を報告する。警備員は通報連絡後に初期消火を実施する。

②　警備責任者は待機している警備員に出動を指示する。

③　警備責任者は自衛消防隊長に警備員から連絡を受けた内容及び対応状況を報告する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

④　自衛消防隊長は自衛消防隊(別添５－１図)への対応(初期消火，社外通報連絡，一斉放送等)を指示する。

⑤　警備員及び自衛消防隊員は直ちに現場に急行して初期消火活動を実施する。

⑥　自衛消防隊員は公設消防が到着後の現場指揮所にて連絡調整等を実施する。現場指揮所の設営場所は予め複数定めて，設営予定場所で火災が発生した場合に別の場所に設営できるようにする。

b.　平日夜間及び休祝祭日の火災警報発生時

火災警報が発生した場合の通報連絡経路を別添５－３図に示す。

警備員の展開，貯蔵区域の中間部分で火災が発生した場合の消防ホース展張経路及び人員配置は平日通常時間帯と変わらない。

(a)　火災警報が発生した場合の警備責任者及び警備員の対応は平日通常時間帯と変わらない。

(b)　平日夜間及び休祝祭日の構内常駐者は警備員の他には監視員及び宿直者となるため，警備責任者より報告を受けた宿直者は監視員に連絡し，連絡を受けた監視員は，一斉放送を実施する。

(c)　宿直員は実火災の場合には,自宅待機している自衛消防隊員の緊急呼び出し及び社外通報連絡を実施する。

(d)　緊急呼び出しを受けた自衛消防隊員は現場に到着後,監視員及び警備員と共に対応する。

c.　平日通常時間帯の火災発見時

火災を発見した場合の通報連絡経路を別添５－４図に示す。

警備員の展開，貯蔵区域の中間部分で火災が発生した場合の消防ホース展張経路及び人員配置は平日通常時間帯と変わらない。

(a)　巡視点検時又は現場作業時に火災を発見した者は直ちに公設消防に状況を通報（第１報）する。公設消防への通報後に警備責任者に状況を報告する。同行者がいる場合は同行者が警備責任者に報告する。

(b)　火災を発見した者は通報連絡後に初期消火を実施する。

(c)　警備責任者は警備員に出動を指示する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(d)　警備責任者は自衛消防隊長に発見者から連絡を受けた内容及び対応状況を報告する。

(e)　自衛消防隊長は自衛消防隊（別添５－１図）に対応(初期消火，社外通報連絡，一斉放送等)を指示する。

(f)　警備員及び自衛消防隊員は直ちに現場に急行し,火災を発見した者と共に初期消火を実施する。

(g)　自衛消防隊員は公設消防が到着後の現場指揮所にて連絡調整等を実施する。現場指揮所の設営場所は予め複数定めて，設営予定場所で火災が発生した場合に別の場所に設営できるようにする。

d.　平日夜間及び休祝祭日の火災発見時

火災を発見した場合の通報連絡経路を別添５－５図に示す。

警備員の展開，貯蔵区域の中間部分で火災が発生した場合の消防ホース展張経路及び人員配置は平日通常時間帯と変わらない。

(a)　巡視点検時又は現場作業時に火災を発見した者は直ちに公設消防に状況を通報（第１報）する。公設消防への通報後に警備責任者に状況を連絡する。同行者がいる場合は同行者が警備責任者に報告する。

(b)　火災を発見した者は通報連絡後に初期消火を実施する。

(c)　警備責任者は警備員に出動を指示する。

(d)　警備責任者は宿直者に発見者から連絡を受けた内容及び対応状況を報告する。

(e)　平日夜間及び休祝祭日の構内常駐者は警備員の他には監視員及び宿直者となるため，宿直者は監視員に連絡し，一斉放送を実施する。

(f)　警備員は直ちに現場に急行し,火災を発見した者と共に初期消火を実施する。

(g)　宿直者は実火災の場合には,自宅待機している自衛消防隊員の緊急呼び出し及び社外通報連絡を実施する。

(h)　緊急呼び出しを受けた自衛消防隊員は現場に到着後,監視員及び警備員と共に対応する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(1/6)

区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 （下線付：可燃物）	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
使用済燃料貯蔵建屋内全域	清掃	・ほうき：５本 ・モップ：５本 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・ウエス：２kg ・バケツ：３個 ・ちりとり：３個(金属製) ・電工ドラム：２個 ・電気掃除機：２台	①可燃物(ほうき～ちりとり)への着火燃焼 ②電工ドラム及び電気掃除機の過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
受入れ区域及び貯蔵区域	放射線管理	・スミヤろ紙：10 枚 ・記録用紙（A4）：10 枚 ・ポリ袋（200×300 ㎜）：５枚 ・ダストサンプラろ紙：２枚 ・ガスモニタフィルタ：２枚(グラスファイバ) ・ガスモニタ記録チャート紙：２枚 ・GM管・電離箱・シンチレーション・中性子線用サーベイメータ：各２台(電池式) ・ダストサンプラ：２台 ・ガスモニタ：２台 ・電工ドラム：２個	①可燃物(ろ紙，ガスモニタ記録チャート紙)への着火燃焼 ②ダストサンプラ，ガスモニタ及び電工ドラムの過熱・発煙又は発火	①持込前・使用前点検 ②過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ③過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ④接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者が発見，電源スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②保護装置による電源遮断 ③接地線に接続 ④火災感知器により火災検知 ⑤粉末消火器により消火	小
受入れ区域	金属キャスク搬入・搬出	・特殊車輌：１台(軽油 300ℓ内蔵) ・ウエス類：10kg ・ポリ袋：10 枚(45ℓ) ・養生テープ：10 巻(難燃) ・洗浄液：200mℓ×４本 ・シリコングリス：500g ・電工ドラム：２個 ・バッテリ式高所作業車：３台 ・油圧ポンプ：１台(作動油：8.5ℓ)	①軽油の漏えい・着火燃焼 ②洗浄液への引火燃焼 ③シリコングリス及び作動油への着火燃焼 ④ウェス，ポリ袋及び養生テープへの着火燃焼 ⑤電工ドラム，高所作業車用電動機及び高所作業車バッテリの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②軽油吸着シート準備 ③金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ④過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ⑤過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑥接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑦高所作業車バッテリの無人充電禁止，監視	①作業者又は監督・監視者が発見及び吸着処理又は初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥作業用消火器準備 ⑦粉末消火器(作業用準備消火器，受入区域配備消火器及び大型消火器)により消火	小
貯蔵区域	補修塗装	○補修塗装対象機器：金属キャスク				
		・塗料：５kg ・小分け容器(１ℓ)：５個 ・刷毛：５本 ・ウェス類：２kg	①塗料への引火燃焼 ②可燃物〔小分け容器（プラスチック製)，刷毛，ウェス〕への着火燃焼	①監督・監視者配置 ②金属キャスク接近時は１ℓ以下の小分け容器使用 ③金属製容器類への収納・施錠(留め置き時)	①作業者又は監督・監視者が発見及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③火災感知器により火災検知 ④粉末消火器により消火	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(2/6)

区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 （下線付：可燃物）	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
受入れ区域及び貯蔵区域	床・壁補修塗装	・塗料：５kg（酸素指数 26 以上又は無機質塗料） ・小分け容器：５個 ・刷毛：５本 ・ローラ：５本 ・ポリ袋（200×300 ㎜）：５枚 ・ウェス類：２kg ・マスキングテープ：50 巻 ・養生シート：５巻(可燃)	①可燃物〔小分け容器（プラスチック製），刷毛，ローラ，ウェス，マスキングテープ，養生シート,〕への着火燃焼	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③消火器配備	①作業者又は監督・監視者が発見，初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③火災感知器により火災検知 ④粉末消火器により消火	小
受入れ区域及び貯蔵区域	埋込金物点検	・電動ドリル：３台 ・電工ドラム：３個 ・ウェス：３kg ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・グリス：５kg	①電動ドリル及び電工ドラムの過熱・発煙又は発火 ②ウエス，ポリ袋及び グリスへの着火燃焼	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
貯蔵区域	監視装置点検・取替	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・掃除機：１台 ・電工ドラム：１個 ・保守工具(金属製) ・高所作業車(電動)	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②電工ドラム及び掃除機の過熱・発煙又は発火 ③高所作業車用電動機及び高所作業車バッテリの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑥高所作業車バッテリの無人充電禁止，監視	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
貯蔵区域	通信設備等保守・点検	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・高所作業車(電動) ・保守工具(金属製)	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②高所作業車用電動機及び高所作業車バッテリの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③高所作業車バッテリの無人充電禁止，監視	①作業者又は監督・監視者が発見及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③火災感知器により火災検知 ④粉末消火器により消火	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(3/6)

区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 （下線付：可燃物）	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
貯蔵区域	通信設備等取替	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・電動ドライバ：１個 ・掃除機：１台 ・電工ドラム：１個 ・高所作業車(電動) ・保守工具(金属製)	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②電工ドラム，電動ドライバ及び掃除機の過熱・発煙又は発火 ③高所作業車用電動機及び高所作業車バッテリの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑥高所作業車バッテリの無人充電禁止，監視	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
受入れ区域	天井クレーン年次点検	・染色浸透探傷検査剤 〔洗浄液：200mℓ×1 本 浸透液：200mℓ×1 本 現像液：200mℓ×1 本〕 ・潤滑油：366ℓ ・グリス：73.5 kg ・電動砥石(グラインダ)：１台 ・電工ドラム：１個 ・ウェス：2kg ・ポリ袋：10 枚(45ℓ)	①染色浸透探傷検査剤への引火燃焼 ②ウェス及びポリ袋への着火燃焼 ③電工ドラム及び電動砥石の過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属キャスクが置かれている期間の作業禁止 ③電動砥石作業区域の区画(不燃材又は難燃材)及び区画内への立入制限，可燃物持込禁止 ④金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ⑤過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ⑥過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑦接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑧残火確認(作業終了後 30 分間)	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
	搬送台車点検	・電工ドラム：１個 ・防爆型灯光器：１個 ・潤滑油：１ℓ ・ウェス類：５kg ・ポリ袋：10 枚（45ℓ）	①ウェス及びポリ袋への着火燃焼 ②防爆型灯光器及び電工ドラムの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属キャスクが置かれている期間の作業禁止 ③金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ④過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ⑤過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑥接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(4/6)

区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 （下線付：可燃物）	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
受入れ区域	機器清掃	○清掃機器：たて起こし架台，仮置架台				
		・電動砥石(グラインダ)：２台 ・電工ドラム：２個 ・グリス：15kg ・ウエス類：２kg ・ポリ袋：10 枚(45ℓ) ・洗浄液：200mℓ×５本	①洗浄液への引火燃焼 ②ウェス及びポリ袋への着火燃焼 ③電工ドラム及び電動砥石の過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属キャスクが置かれている期間の作業禁止 ③電動砥石作業区域の区画(不燃材又は難燃材)及び区画内への立入制限，可燃物持込禁止 ④金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ⑤過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ⑥過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑦接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑧残火確認(作業終了後 30 分間)	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
	機器点検	○点検機器：たて起こし架台，仮置架台，水平吊具，垂直二重吊具				
		・染色浸透探傷検査剤〔洗浄液：200mℓ×１本 浸透液：200mℓ×１本 現像液:200mℓ×１本〕 ・電動砥石(グラインダ)：１台 ・電工ドラム：１個 ・グリス：15kg ・ウエス類：２kg ・ポリ袋：10 枚(45ℓ)	①染色浸透探傷検査剤への引火燃焼 ②ウェス及びポリ袋への着火燃焼 ③電工ドラム及び電動砥石の過熱・発煙又は発火	同上	同上	小
	素地調整	○素地調整対象機器：仮置架台				
		・電動砥石(グラインダ)：１台 ・電工ドラム：１個 ・ウェス：２kg ・ポリ袋：10 枚(45ℓ)	①ウェス及びポリ袋への着火燃焼 ②電工ドラム及び電動砥石の過熱・発煙又は発火	同上	同上	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(5/6)

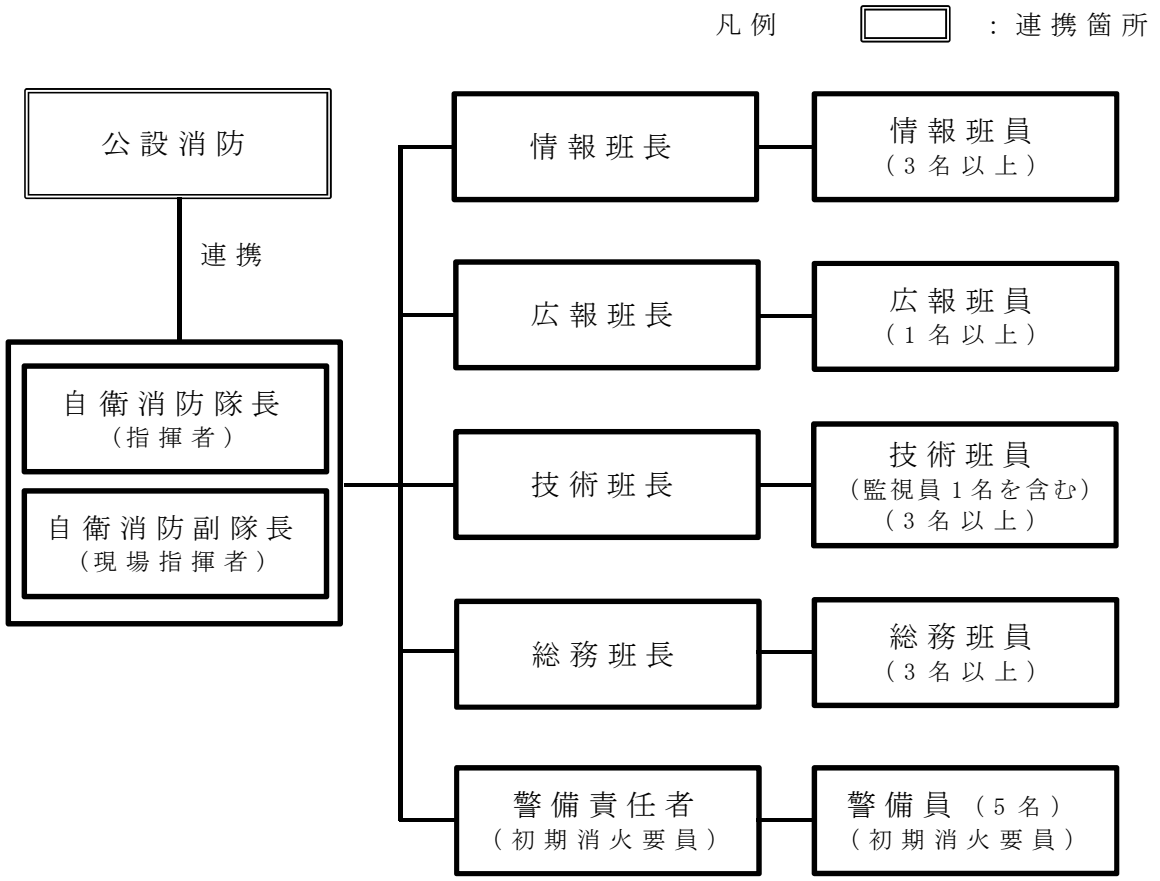
区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 (下線付：可燃物)	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
受入れ区域	補修塗装	○補修塗装対象機器：搬送台車，仮置架台，たて起こし架台，水平吊具，垂直二重吊具				
		・塗料：５kg ・刷毛：２本 ・ウエス類：１kg	①塗料への引火燃焼 ②可燃物(刷毛及びウェス)への着火燃焼	①監督・監視者配置 ②金属キャスクが置かれている期間の作業禁止 ③金属製容器類への収納・施錠(留め置き時)	①作業者又は監督・監視者が発見及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③火災感知器により火災検知 ④粉末消火器により消火	小
受入れ・付帯区域	監視装置点検・取替	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・電動ドライバ：１個 ・掃除機：１台 ・電工ドラム：１個 ・高所作業車(電動) ・保守工具(金属製)	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②電工ドラム，電動ドライバ及び掃除機の過熱・発煙又は発火 ③高所作業車用電動機及び高所作業車バッテリの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑥高所作業車バッテリの無人充電禁止，監視	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
	通信設備等保守・点検	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・保守工具(金属製)	ウェス及びポリ袋への着火・燃焼	①監督・監視者配置 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時)	①作業者又は監督・監視者が発見及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③火災感知器により火災検知 ④粉末消火器により消火	小
	通信設備等取替	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・電動ドライバ：１個 ・掃除機：１台 ・電工ドラム：１個 ・保守工具(金属製)	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②電工ドラム，電動ドライバ及び掃除機の過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

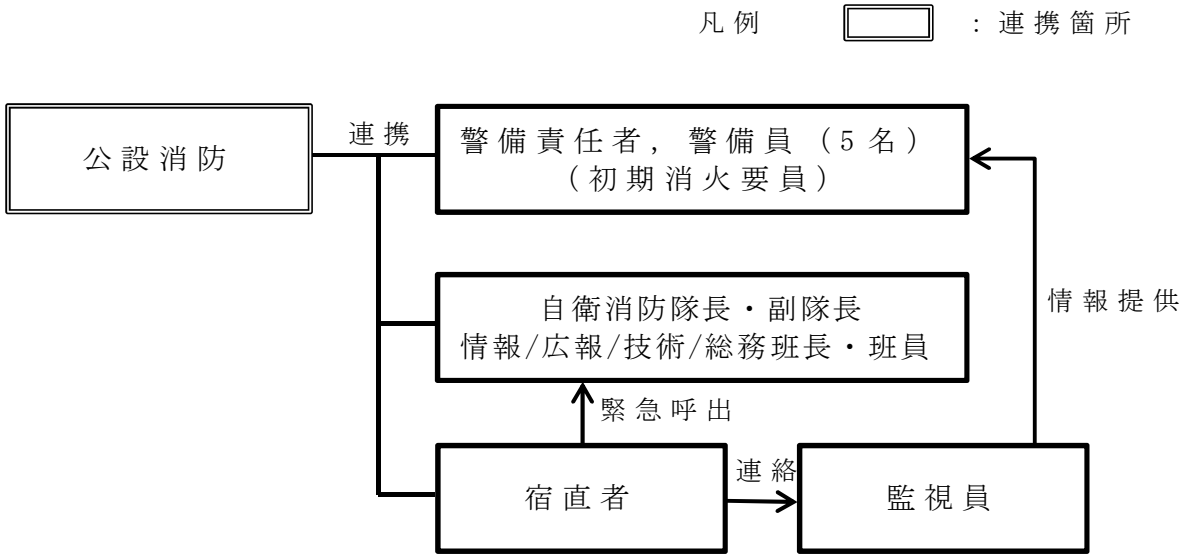
別添５－１表　使用済燃料貯蔵建屋内作業及び持込物品一覧表(6/6)

区域	作業内容	想定される火災等				
		持込物品 （下線付：可燃物）	発生形態	発生防止措置	拡大防止 消火作業	発生・拡大の蓋然性
付帯区域	送排風機・空気圧縮機点検	・ウェス類：20 枚 ・ポリ袋：５枚(45ℓ) ・防爆型灯光器：１個 ・電工ドラム：１個 ・保守工具(金属製) ・グリス：400g ・潤滑油：70ℓ ・フィルタ：１個	①ウェス及びポリ袋への着火・燃焼 ②防爆型灯光器及び電工ドラムの過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小
	床・壁補修塗装	・塗料：５kg（酸素指数 26 以上又は無機質塗料） ・小分け容器：５個 ・刷毛：５本 ・ローラ：５本 ・ポリ袋（200×300㎜）：５枚 ・ウェス類：２kg ・マスキングテープ：50 巻 ・養生シート：５巻(可燃) ・送風機：４台 ・ジャバラダクト：４本 ・電工ドラム：４個	①可燃物〔小分け容器（プラスチック製），刷毛，ローラ，ポリ袋，ウェス，マスキングテープ，養生シート，ジャバラダクト〕への着火燃焼 ②電工ドラム及び送風機の過熱・発煙又は発火	①監督・監視者配置，持込前・使用前点検 ②金属製容器類への収納・施錠(留め置き時) ③過電流・過負荷及び漏電保護機能付きコンセントプラグ及び電工ドラムの使用 ④過熱保護機能付き電工ドラム使用及びコード巻き取り状態での使用禁止 ⑤接地線取付厳守，２芯コード・ドラムの持込禁止 ⑥消火器配備 ⑦常時換気	①作業者又は監督・監視者が発見，スイッチ切り操作及び初期消火実施 ②金属製箱に収納 ③保護装置による電源遮断 ④接地線に接続 ⑤火災感知器により火災検知 ⑥粉末消火器により消火	小

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

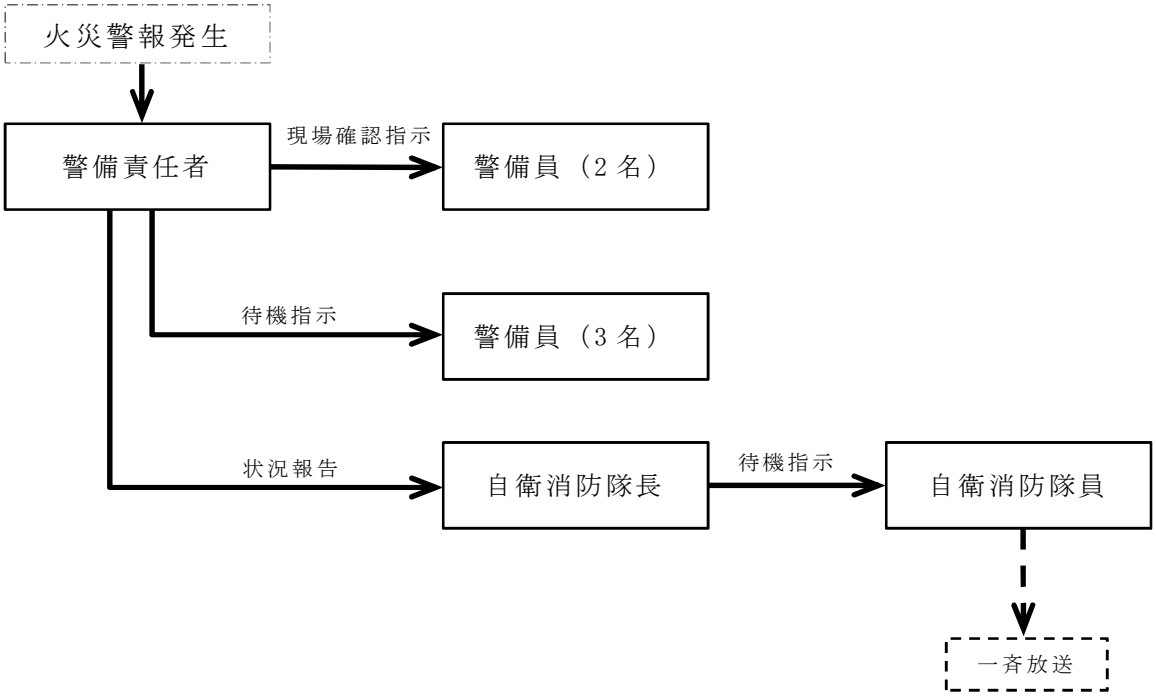


別添５－１図（１／２）　自衛消防隊体制図
平日通常時間帯及び緊急呼出後の自衛消防隊体制

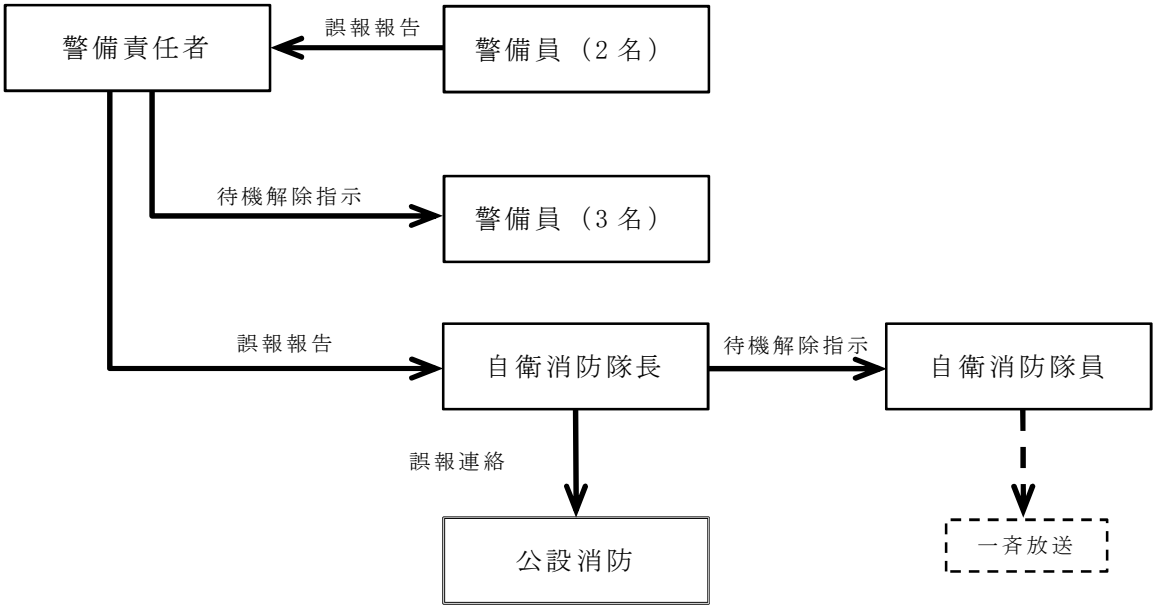


別添５－１図（２／２）　自衛消防隊体制図
平日夜間及び休祝祭日の自衛消防隊体制

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

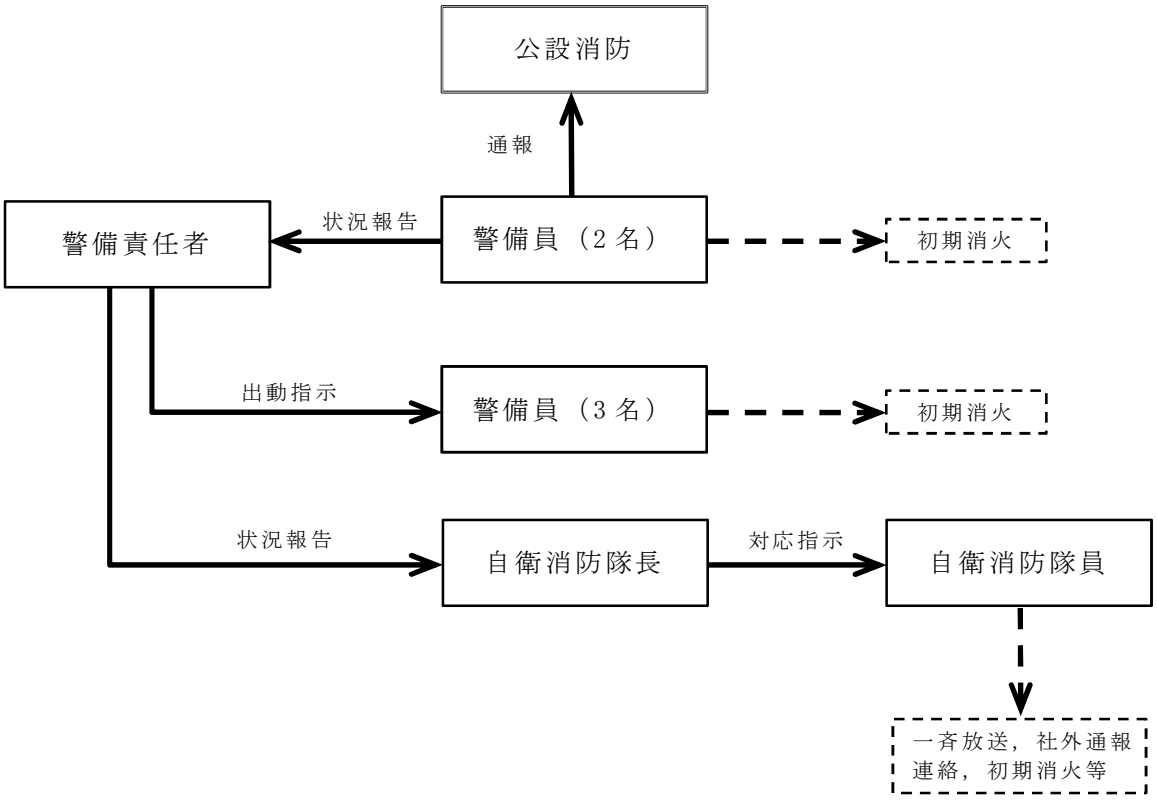


別添５－２図（１／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
火災警報発生時（平日通常時間帯）



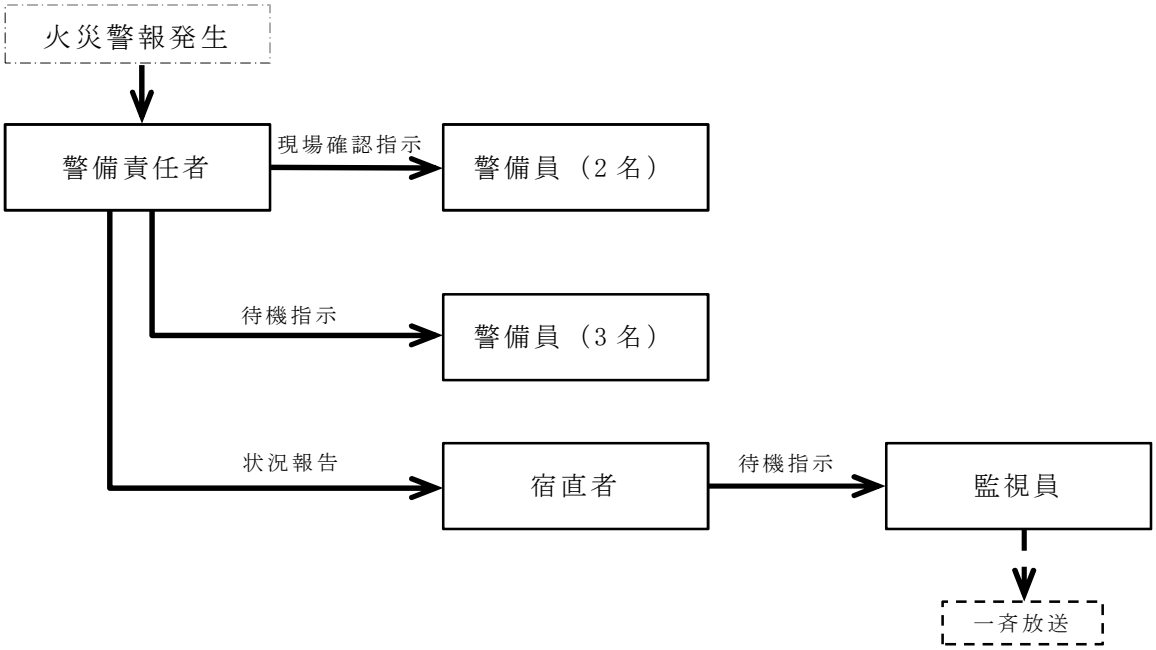
別添５－２図（２／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
誤報確認時（平日通常時間帯）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

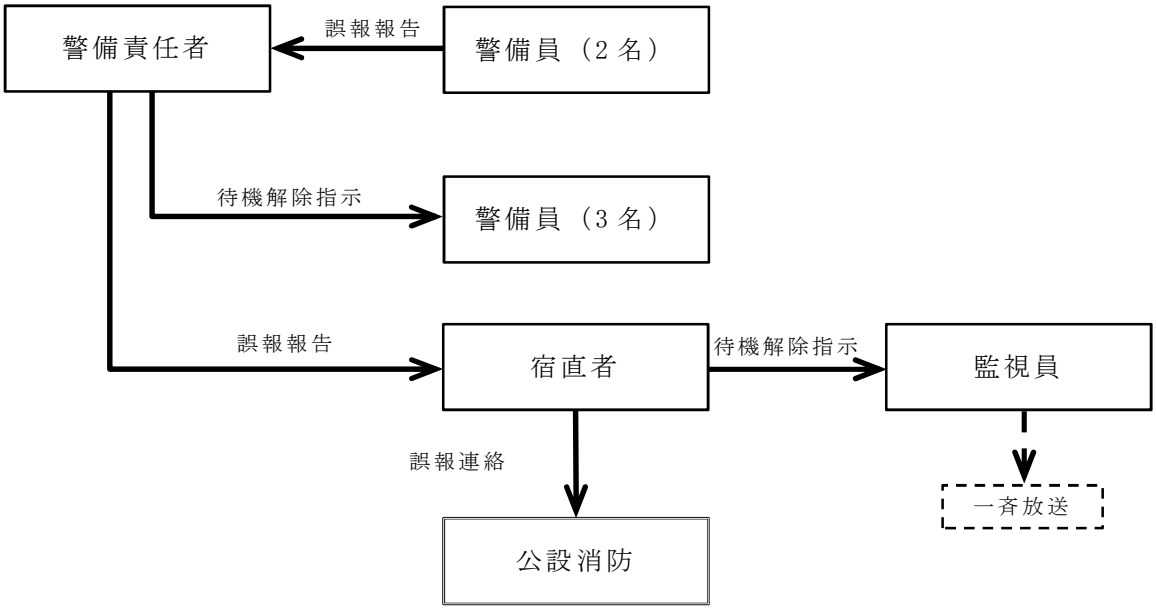


別添５－２図（３／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
実火災確認時（平日通常時間帯）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

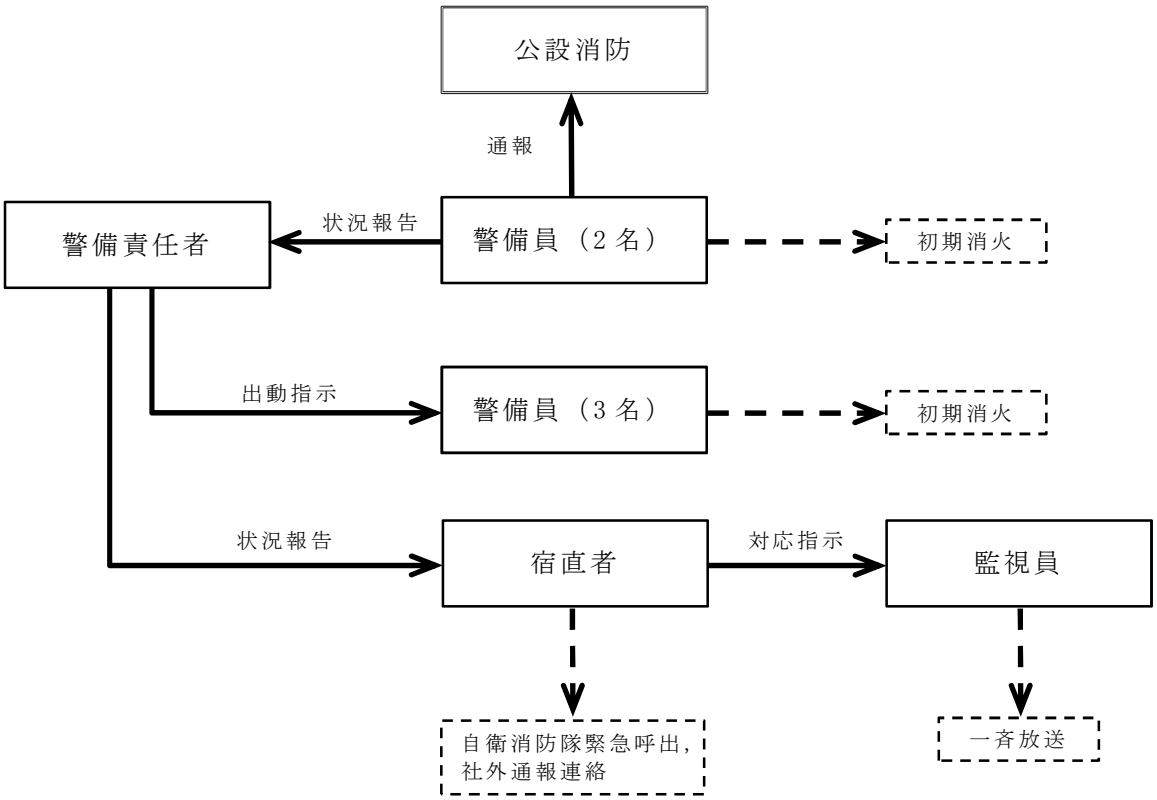


別添５－３図（１／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
火災警報発生時（平日夜間及び休祝祭日）



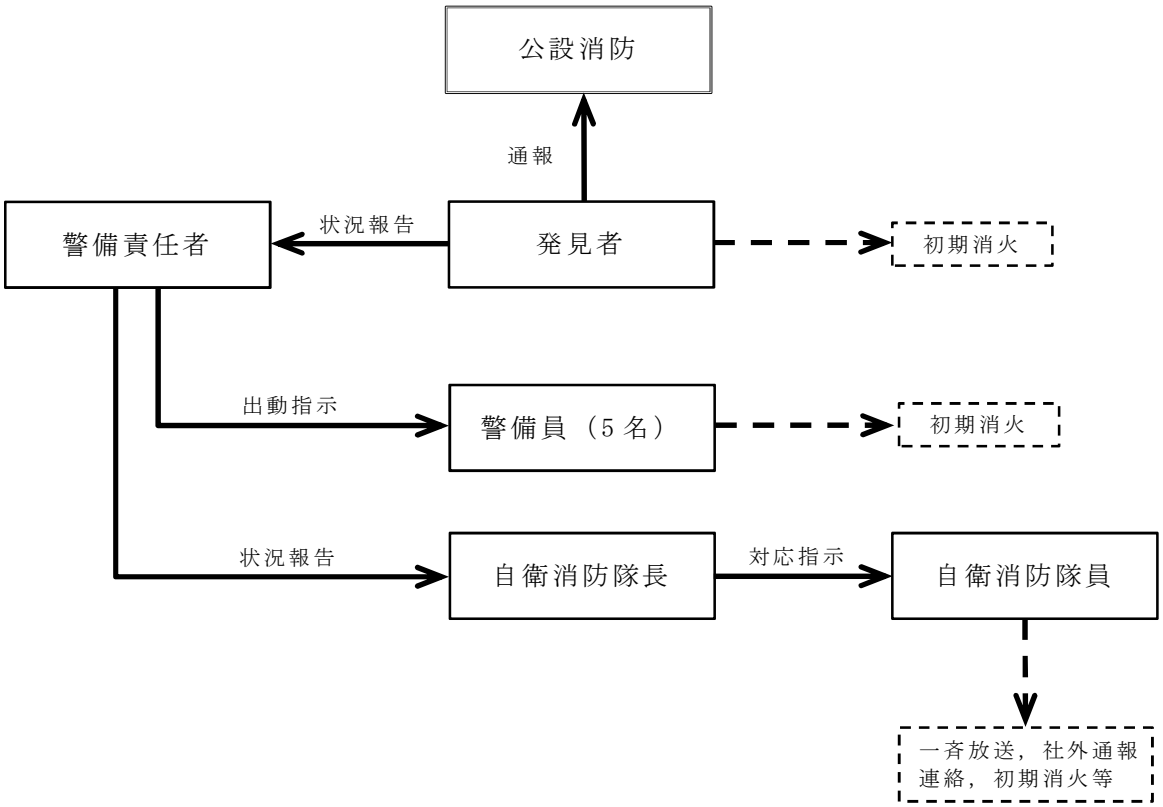
別添５－３図（２／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
誤報確認時（平日夜間及び休祝祭日）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

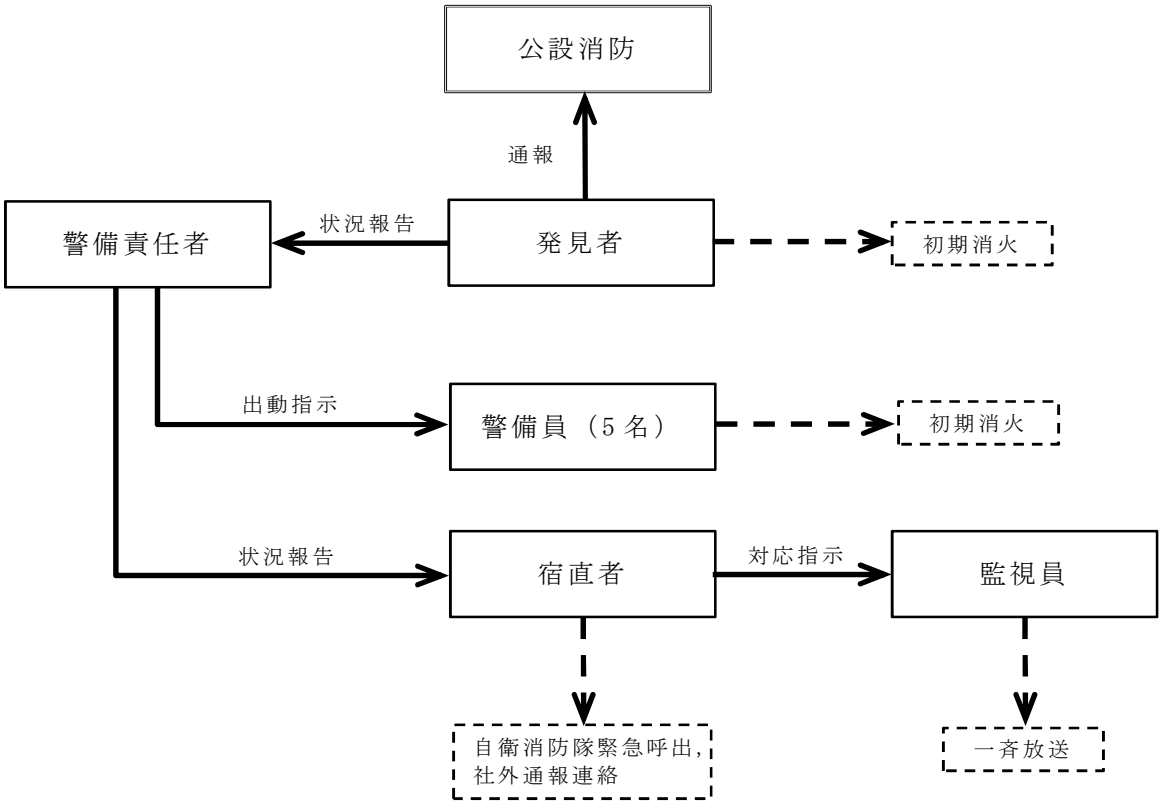


別添５－３図（３／３）火災警報発生時の通報連絡経路図
実火災確認時（平日夜間及び休祝祭日）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

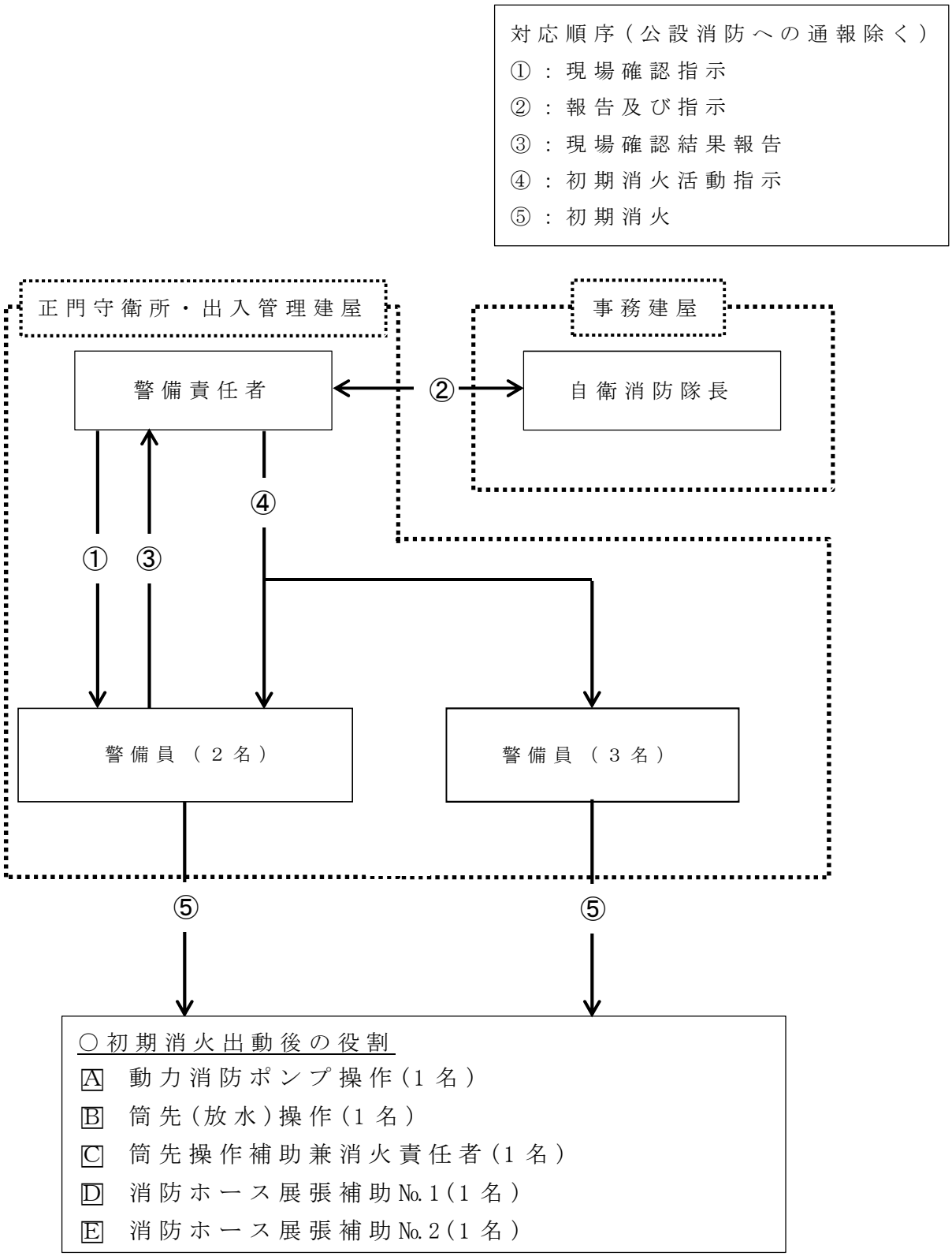


別添５－４図　火災発見時の通報連絡経路図（平日通常時間帯）



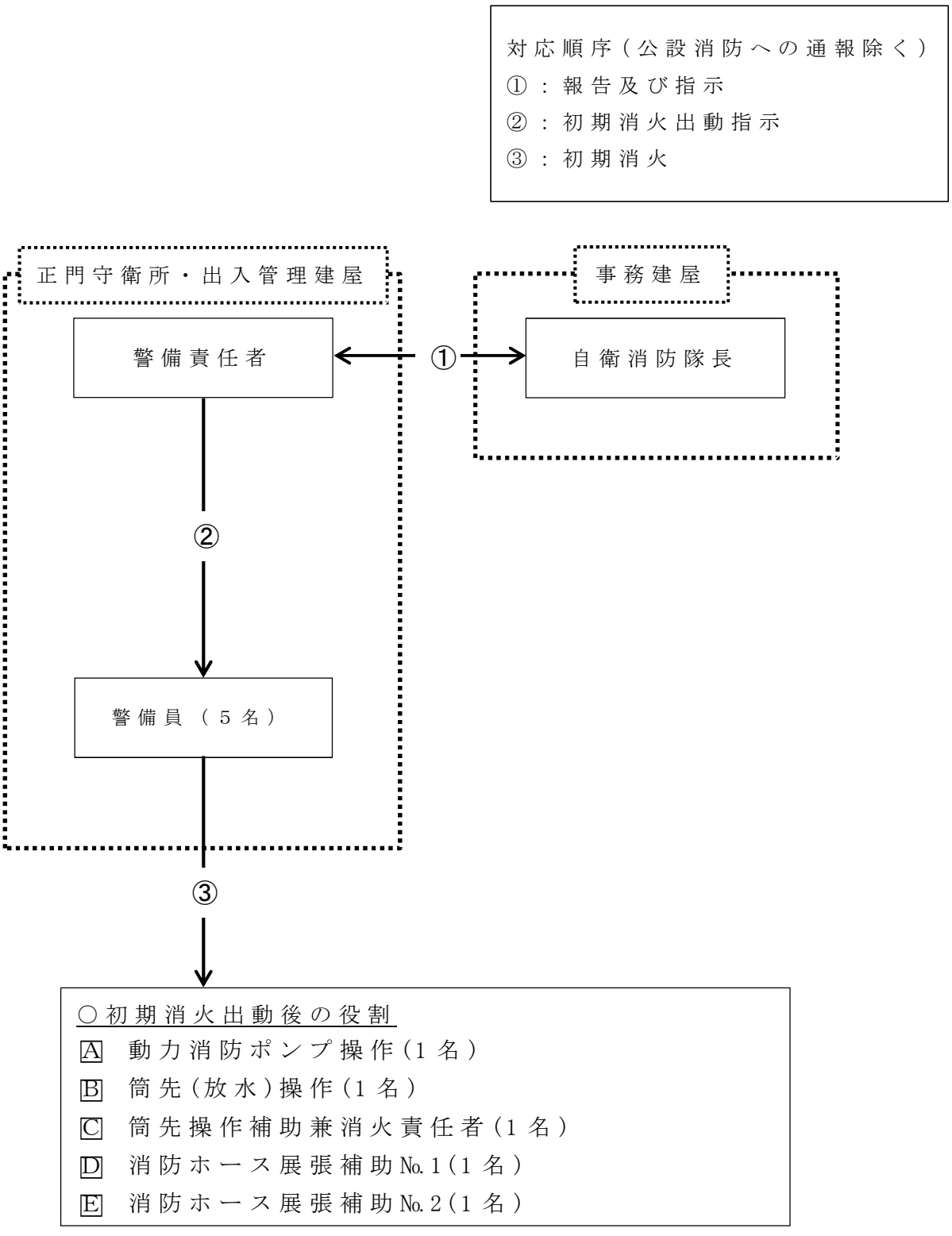
別添５－５図　火災発見時の通報連絡経路図（平日夜間及び休祝祭日）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



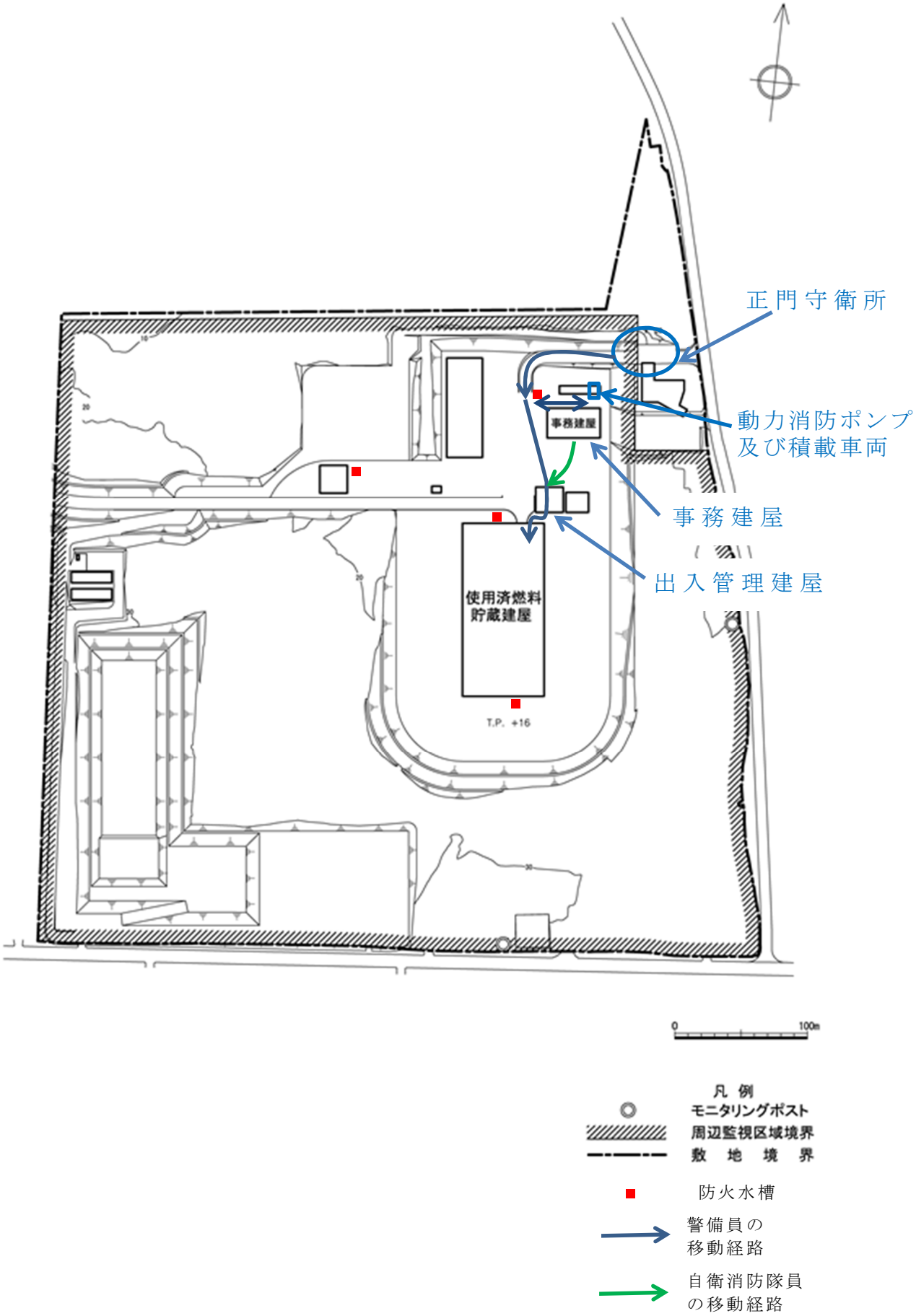
別添５－６図（１／３）　初期消火対応を行う警備員の展開図
（火災警報発生時）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



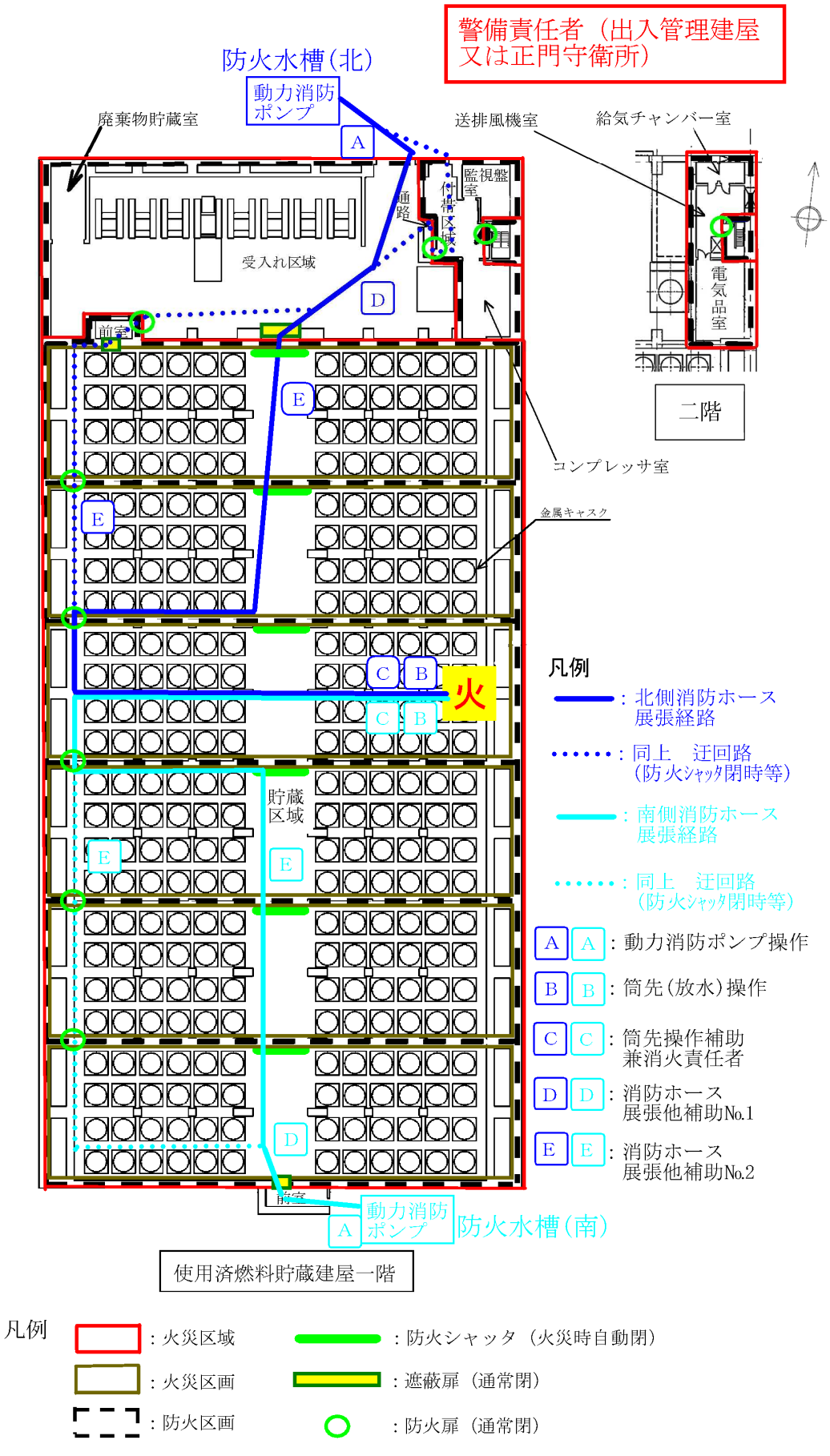
別添５－６図（２／３）　初期消火対応を行う警備員の展開図
（火災発見時）

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添５－６図（３／３）　初期消火兼務者展開図（構内移動経路）

無断複製・転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



別添５－７図　消防ホース展張経路及び人員配置図

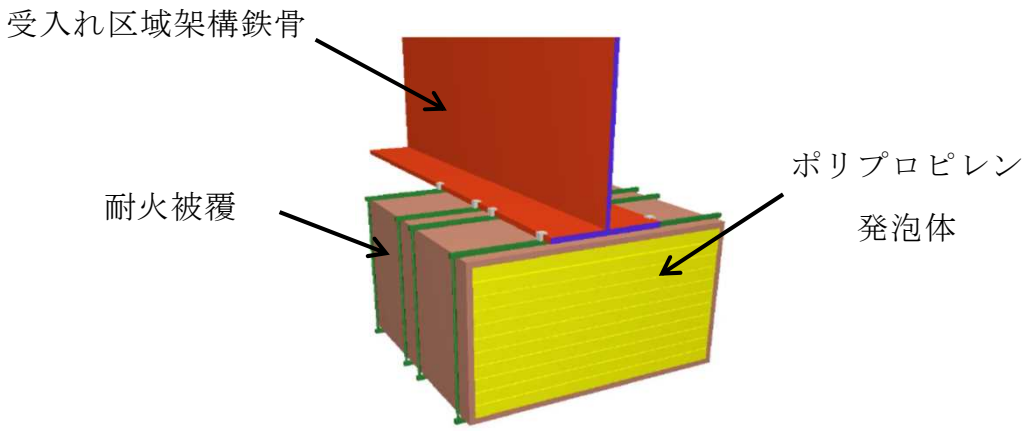
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添６

受入れ区域架構鉄骨緩衝材に関する
火災発生防止対策について

受入れ区域架構鉄骨に自主的に設置する緩衝材は別添６－１図に示すように，ポリプロピレン発泡体（FMVSS （米国連邦自動車安全基準）No.302 燃焼性試験の判定基準を満足する自己消火性のある材料を選定予定）に，耐火被覆（耐火ロックウールを材料としたシート状の巻付け耐火被覆材（熱伝導率 0.0334[W/(m・K)]（温度 20℃の場合），厚さ 40mm の製品を選定予定））を巻いたものとする。

耐火被覆により，緩衝材周囲で発生した火災の炎がポリプロピレン発泡体に届かないようにするとともに，耐火被覆の断熱効果によりポリプロピレン発泡体の温度上昇を抑えることにより，緩衝材は着火しない構造とする。



別添６－１図　受入れ区域架構鉄骨緩衝材

以　上

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

第９条　地震による損傷の防止（耐震設計の基本方針）

＜目　次＞

１．耐震設計の基本方針
２．施設の耐震設計方針

（別　添）
別添１　別添１－１表　クラス別施設（主要設備）
別添２　基準地震動及び弾性設計用地震動

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

1.　耐震設計の基本方針

(1)　使用済燃料貯蔵施設は，耐震設計上の重要度分類をＳクラス，Ｂクラス又はＣクラスに分類し，それぞれに応じて設定した地震力に対しておおむね弾性範囲の設計を行う。

なお，耐震設計上の重要度分類及び地震力については，「(2)」に示すとおりである。

(2)　使用済燃料貯蔵施設は，地震により発生するおそれがある安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から，各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて，以下のとおり，「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」及び「その他の安全機能を有する施設」に分類し，更に，耐震設計上の重要度分類として，Ｓクラス，Ｂクラス又はＣクラスに分類してそれぞれに応じた地震力を算定する。

なお，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の設置はない。

ａ．耐震設計上の重要度分類

基本的安全機能を確保する上で必要な施設

Ｓクラス：使用済燃料貯蔵設備本体である金属キャスク及び貯蔵架台

Ｂクラス：基本的安全機能の遮蔽機能及び除熱機能の一部を担っている使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）
使用済燃料の受入施設のうち，金属キャスクの落下，転倒，衝突を防止する機能を有する受入れ区域天井クレーン及び金属キャスクの転倒，衝突を防止する機能を有する搬送台車

その他の安全機能を有する施設

Ｃクラス：Ｓクラス及びＢクラスに属さないその他の安全機能を有する施設であり，安全機能を確保するために必要な機能が喪失しても，基本的安全機能を損なうおそれがない施設

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

b．地震力

上記(1)のＳクラスの施設，Ｂクラス及びＣクラスの施設に適用する地震力は以下のとおり算定する。

なお，Ｓクラスの施設については，弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を適用する。

(a) 静的地震力

静的地震力は，Ｓクラス，Ｂクラス及びＣクラスの施設に適用することとし，それぞれ耐震設計上の重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 Ci 及び震度に基づき算定する。

ⅰ 建物・構築物

「建物・構築物」として安全機能を有する施設は貯蔵建屋のみであるため，以下「建物・構築物」については貯蔵建屋の内容を記載する。

水平地震力は，地震層せん断力係数 Ci に，次に示す施設の耐震設計上の重要度分類に応じた係数を乗じ，さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Ｂクラス　　1.5

ここで，地震層せん断力係数 Ci は，標準せん断力係数 Co を 0.2 以上とし，貯蔵建屋の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

ⅱ 機器・配管系

耐震設計上の重要度分類の各クラスの水平地震力は，地震層せん断力係数 Ci に，次に示す施設の耐震設計上の重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし，当該水平震度を 20％増しとした震度より求めるものとする。

Ｓクラス　　3.0

Ｂクラス　　1.5

Ｃクラス　　1.0

鉛直地震力は，震度 0.3 以上を基準とし，貯蔵建屋の振動特性，地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度を 20％増しとした震度

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

より算定するものとする。ただし，鉛直震度は，高さ方向に一定とする。

Ｓクラスの施設については，水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

(b)　弾性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動による地震力は，Ｓクラスの施設に適用する。

弾性設計用地震動は，基準地震動に工学的判断から求められる係数 0.5 を乗じて設定する。

また，弾性設計用地震動による地震力は，水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお，Ｂクラスの施設のうち，共振のおそれのある施設については，弾性設計用地震動に２分の１を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。当該地震動による地震力は，水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

(3)　Ｓクラスの施設は，最新の科学的・技術的知見を踏まえ，敷地及び敷地周辺の地質・地質構造，地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切な地震動，すなわち基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

また，Ｂクラスの施設のうち，貯蔵建屋，受入れ区域天井クレーン及び搬送台車は，基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

貯蔵建屋は，基本的安全機能の遮蔽機能及び徐熱機能の一部を担っている施設であるため，遮蔽機能及び徐熱機能が損なわれるおそれがない設計とする。

受入れ区域天井クレーンは，金属キャスクの落下，転倒，衝突を防止する機能を有する施設であるため，クレーン本体が落下しないことで，金属キャスクの基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

搬送台車は，金属キャスクの転倒，衝突を防止する機能を有する施設であるため，転倒しないことで金属キャスクの基本的安全機能が損なわれる

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

おそれがない設計とする。

基準地震動による地震力は，基準地震動を用いて，水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお，基本的安全機能を確保する上で必要な施設が，その他の安全機能を有する施設の波及的影響によって，その基本的安全機能を損なわないように設計する。

(4) 貯蔵建屋設置位置付近に存在する斜面は，最大高さ約 13mであり，斜面勾配は最大１：２で，高さ５m毎に幅 1.5mの小段を設けている。また，斜面法尻と貯蔵建屋との距離が 50m以上確保されている。したがって，斜面の崩壊に対して基本的安全機能が損なわれるおそれはない。

2. 施設の耐震設計方針

2.1 設計方針

使用済燃料貯蔵施設の耐震設計は，地震力に十分耐えることができるよう次の方針に基づき耐震設計を行う。

(1) 使用済燃料貯蔵施設は，その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

(2) 使用済燃料貯蔵施設は，地震により発生するおそれがある施設の安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から，耐震設計上の重要度をＳクラス，Ｂクラス又はＣクラスに分類し，それぞれの重要度に応じた地震力に十分耐えることができるように設計する。

(3) 金属キャスク及び金属キャスクの支持構造物は，Ｓクラスの設計とし，基準地震動による地震力に対して基本的安全機能を損なわない設計とする。

また，弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐える設計とする。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

なお，基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は，水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて作用するものとする。静的地震力は，水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

(4)　貯蔵建屋，受入れ区域天井クレーン及び搬送台車は，Ｂクラスの設計とし，かつ，基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能を損なわない設計とする。

なお，貯蔵建屋は，杭基礎構造とし，杭先端は基準地震動による地震力が作用した場合においても十分な支持性能をもつ地盤に支持させる。

(5)　ＢクラスおよびＣクラスの施設は，静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐える設計とする。

(6)　Ｂクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては，その影響について検討を行う。その場合，検討に用いる地震動は，弾性設計用地震動に２分の１を乗じたものとする。

(7)　基本的安全機能を確保する上で必要な施設が，その他の安全機能を有する施設の波及的影響によって，その基本的安全機能を損なわないように設計する。

2.2　耐震設計上の重要度分類

使用済燃料貯蔵施設は，地震により発生するおそれがある施設の安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から，「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」及び「その他の安全機能を有する施設」に分類し，更に，耐震設計上の重要度を次のように分類する。

基本的安全機能を確保する上で必要な施設

Ｓクラス：使用済燃料貯蔵設備本体である金属キャスク及び貯蔵架台

Ｂクラス：基本的安全機能の遮蔽機能及び除熱機能の一部を担っている貯蔵建屋

使用済燃料の受入施設のうち，金属キャスクの落下，転倒，衝突を防止する機能を有する受入れ区域天井クレーン及び金属キャスクの転倒，衝突を防止する機能を有する搬送台

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

車

その他の安全機能を有する施設

Ｃクラス：Ｓクラス及びＢクラスに属さないその他の安全機能を有する施設であり，安全機能を確保するために必要な機能が喪失しても，基本的安全機能を損なうおそれがない施設

上記に基づくクラス別施設（主要設備）を別添１－１表に示す。

なお，同表には当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び相互影響を考慮すべき設備に適用する地震動についても併記する。

2.3　基準地震動及び弾性設計用地震動

基準地震動は，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について，解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。策定した基準地震動の応答スペクトルを別添２－１図に，最大加速度振幅値を別添２－１表に示す。

ここで，基準地震動 Ss－B4 は，水平方向の地震動のみであることから，水平方向と鉛直方向を組み合わせた影響評価を行う場合には，「一関東評価用地震動」を用いる。一関東評価用地震動（鉛直方向）の応答スペクトルを別添２－２図に示す。

なお，基準地震動の年超過確率は，10^{-4}～10^{-5}程度となる。

また，上記基準地震動に工学的判断から求められる係数 0.5 を乗じて弾性設計用地震動を設定する。弾性設計用地震動の最大加速度振幅値を別添２－２表に，応答スペクトルを別添２－３図に示す。

2.4　地震力の算定法

使用済燃料貯蔵施設の耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1)　動的地震力

動的地震力は，Ｓクラスの施設に適用することとする。

基準地震動による地震力は，基準地震動から定める入力地震動を入力

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

として，動的解析により水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

また，弾性設計用地震動による地震力は，弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として，動的解析により水平２方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。ここで，弾性設計用地震動は，基準地震動に工学的判断から求められる係数 0.5 を乗じて設定する。

なお，貯蔵建屋，受入れ区域天井クレーン及び搬送台車は，Ｂクラスの施設ではあるが，基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能を損なわない設計とする。

ａ．入力地震動

貯蔵建屋設置位置周辺は，地質調査の結果によれば，貯蔵建屋を構造耐力上安全に支持し得る砂子又層が十分な広がりをもって存在することが確認されている。貯蔵建屋は，この砂子又層に杭を介して支持させることとする。

解放基盤表面は，砂子又層のＳ波速度が 0.7km/s 以上を有する標高－218ｍの位置に想定することとする。

建物・機器の動的解析モデルに対する水平方向及び鉛直方向の入力地震動は，この解放基盤表面で定義された基準地震動から，建物及び地盤が地震動に与える影響を考慮して定めることとする。

ｂ．動的解析法

(a)　建物・構築物

「建物・構築物」として安全機能を有する施設は貯蔵建屋のみであるため，以下「建物・構築物」については貯蔵建屋の内容を記載する。

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性，適用限界等を考慮のうえ，適切な解析法を選定する。貯蔵建屋の動的解析は，原則として，時刻歴応答解析法による。

貯蔵建屋の動的解析に当たっては，貯蔵建屋の剛性はその形状，構造特性及び材料特性を十分考慮して評価し，集中質点系及び３次元 FEM モデルに置換した解析モデルを設定する。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

動的解析には，建屋・杭と地盤との相互作用を考慮するものとし，解析モデルの地盤のばね定数は，杭の配置状況，地盤の剛性等を考慮して定める。設計用地盤定数は，原則として，弾性波試験等に基づき適切に定める。

地盤－建屋・杭連成系の減衰定数は，振動エネルギの地下逸散及び地震応答における各部のひずみレベルを考慮して定める。なお，貯蔵建屋への入力地震動における計算での減衰定数については，各基準地震動により生じる地盤のひずみに応じた値とする。

基準地震動に対する応答解析において，貯蔵建屋の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には，その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

(b)　機器・配管系

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性，適用限界等を考慮のうえ，適切な解析法を選定する。

機器の動的解析は，原則として，機器の形状を考慮して，１質点系又は多質点系モデルに置換し，設計用床応答曲線を用いた応答スペクトル・モーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。

なお，剛性の高い機器は，その機器の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。

動的解析に用いる減衰定数は，既往の振動実験等を考慮して適切な値を定める。

配管系については，耐震設計上の重要度分類においてＣクラスの施設の配管のみであるため動的解析は実施しない。

(2)　静的地震力

静的地震力は，Ｓクラス，Ｂクラス及びＣクラスの施設に適用することとし，それぞれクラスに応じて次の地震層せん断力係数 Ci 及び震度に基づき算定する。

ａ．貯蔵建屋

水平地震力は，地震層せん断力係数 Ci に，次に示す施設の耐震設

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

計上の重要度分類に応じた係数を乗じ，さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Ｂクラス　　1.5

ここで，地震層せん断力係数 Ci は，標準せん断力係数 Co を 0.2 以上とし，貯蔵建屋の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

また，必要保有水平耐力の算定においては，地震層せん断力係数 Ci に乗じる施設の耐震設計上の重要度分類に応じた係数は 1.0 とし，その際に用いる標準せん断力係数 Co は 1.0 以上とする。

ｂ．機器・配管系

耐震設計上の重要度分類の各クラスの水平地震力は，地震層せん断力係数 Ci に，次に示す施設の耐震設計上の重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし，当該水平震度を 20%増しとした震度より求めるものとする。

Ｓクラス　3.0

Ｂクラス　1.5

Ｃクラス　1.0

鉛直地震力は，震度 0.3 以上を基準とし，貯蔵建屋の振動特性，地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度を 20%増しとした震度より算定するものとする。ただし，鉛直震度は，高さ方向に一定とする。

Ｓクラスの施設については，水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

上記ａ．及びｂ．の標準せん断力係数 Co 等の割増し係数の適用については，耐震性向上の観点から，一般産業施設，公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

2.5　荷重の組合せと許容限界

(1)　耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

ａ．貯蔵建屋

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

(a)　貯蔵時の状態

金属キャスクを貯蔵している状態

(b)　設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件

b．機器・配管系

(a)　貯蔵時の状態

金属キャスクを貯蔵している状態

(2)　荷重の種類

a．貯蔵建屋

(a)　常時作用している荷重，すなわち固定荷重及び積載荷重

(b)　貯蔵時の状態で作用する荷重

(c)　金属キャスク取り扱い時の状態で作用する荷重

(d)　地震力，風荷重，雪荷重，降下火砕物の荷重

ただし，(b)貯蔵時の状態で作用する荷重には，機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとする。

また，(d)地震力には，機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

b．機器・配管系

(a)　常時作用している荷重，すなわち死荷重

(b)　貯蔵時の状態で作用する荷重

(c)　金属キャスク取り扱い時の状態で作用する荷重

(d)　地震力

(3)　荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a．貯蔵建屋

地震力と常時作用している荷重，貯蔵時の状態で作用する荷重，金属キャスク取り扱い時の状態で作用する荷重，風荷重，雪荷重，降下火砕物の荷重とを組み合わせる。

b．機器・配管系

地震力と常時作用している荷重，貯蔵時の状態で作用する荷重，金

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

属キャスク取り扱い時の状態で作用する荷重とを組み合わせる。

c．荷重の組合せ上の留意事項

(a)　ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には，その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。

(b)　複数の荷重が同時に作用し，それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば，それぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。

(4)　許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとする。

a．貯蔵建屋

(a)　静的地震力との組合せに対する許容限界

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

(b)　保有水平耐力

貯蔵建屋の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して重要度に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認するものとする。

(c)　基準地震動との組合せに対する許容限界

貯蔵建屋が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し，終局耐力に対して妥当な安全余裕をもたせることとする。

b．機器・配管系

(a)　Ｓクラスの機器系

ⅰ　基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

荷重条件に対して，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，その施設に要求される機能に影響を及ぼさない限度を許容限界とする。

ⅱ　弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

荷重条件に対して，応答が全体的におおむね弾性状態に留まる限度を許容限界とする。

(b)　Ｂクラス及びＣクラスの機器・配管系

発生する応力に対して，応答が全体的におおむね弾性状態に留まる限度を許容限界とする。

なお，Ｂクラスの機器で基準地震動による地震力に対して基本的安全機能を損なわない設計とするものは，荷重条件に対して，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，その施設に要求される機能に影響を及ぼさない限度を許容限界とする。

2.6　設計における留意事項

基本的安全機能を確保する上で必要な施設が，その他の安全機能を有する施設の波及的影響によって，その基本的安全機能を損なわないように設計する。この波及的影響の評価に当たっては，以下の４つの観点をもとに，敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い，事象選定及び影響評価を実施するとともに，基準地震動又は基準地震動による地震力を適用する。

(1)　設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響

ａ．不等沈下

基準地震動又は基準地震動による地震力に対して不等沈下により，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の基本的安全機能を損なわないことを確認する。

ｂ．相対変位

基準地震動又は基準地震動による地震力によるその他の安全機能を有する施設と基本的安全機能を確保する上で必要な施設の相対変位により，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の基本的安全機能を損なわないことを確認する。

(2)　基本的安全機能を確保する上で必要な施設とその他の安全機能を有

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

する施設との接続部における相互影響

基準地震動又は基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能を確保する上で必要な施設に接続するその他の安全機能を有する施設の損傷により，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の基本的安全機能を損なわないことを確認する。

(3) 貯蔵建屋内におけるその他の安全機能を有する施設の損傷,転倒及び落下等による基本的安全機能を確保する上で必要な施設への影響

基準地震動又は基準地震動による地震力に対して，貯蔵建屋内のその他の安全機能を有する施設の損傷，転倒及び落下等により，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の基本的安全機能を損なわないことを確認する。

(4) 貯蔵建屋外におけるその他の安全機能を有する施設の損傷,転倒及び落下等による基本的安全機能を確保する上で必要な施設への影響

a．基準地震動又は基準地震動による地震力に対して，貯蔵建屋外のその他の安全機能を有する施設の損傷，転倒及び落下等により，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の基本的安全機能を損なわないことを確認する。

b．基準地震動又は基準地震動による地震力に対して，基本的安全機能を確保する上で必要な施設の周辺斜面が崩壊しないことを確認する。

2.7 主要施設の耐震構造

貯蔵建屋は，地上１階で平面が約 131m（南北方向）×約 62m（東西方向），地上高さが約 28mの鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添１－１表　クラス別施設（主要設備）

分　類	主要設備（注１）		直接支持構造物（注２）		主要設備や直接支持構造物に対する間接支持構造物（注３）	主要設備や直接支持構造物との相互影響を考慮すべき設備　（注４）	間接支持構造物や相互影響の評価に用いる地震力
	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス			
基本的安全機能を確保する上で必要な施設	・金属キャスク	S	・貯蔵架台	S	・貯蔵建屋	・受入れ区域天井クレーン ・搬送台車	基準地震動により定まる地震力
	・受入れ区域天井クレーン	B	・受入れ区域天井クレーンの支持構造物	B	・貯蔵建屋	—	Ｂクラス施設に適用される静的地震力
	・搬送台車 ・貯蔵建屋	B B	—	—	—	—	—
その他の安全機能を有する施設	・仮置架台 ・たて起こし架台 ・検査架台 ・圧縮空気供給設備 ・その他の使用済燃料貯蔵施設（ただし，上位クラスに分類されるものを除く）	C	・機器，電気計装設備等の支持構造物	C	・貯蔵建屋 ・事務建屋　等	—	Ｃクラス施設に適用される静的地震力

（注１）主要設備とは，当該機能に直接的に関連する設備をいう。

（注２）直接支持構造物とは，主要設備に直接取り付けられる支持構造物，若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。

（注３）間接支持構造物とは，直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物，構築物）をいう。

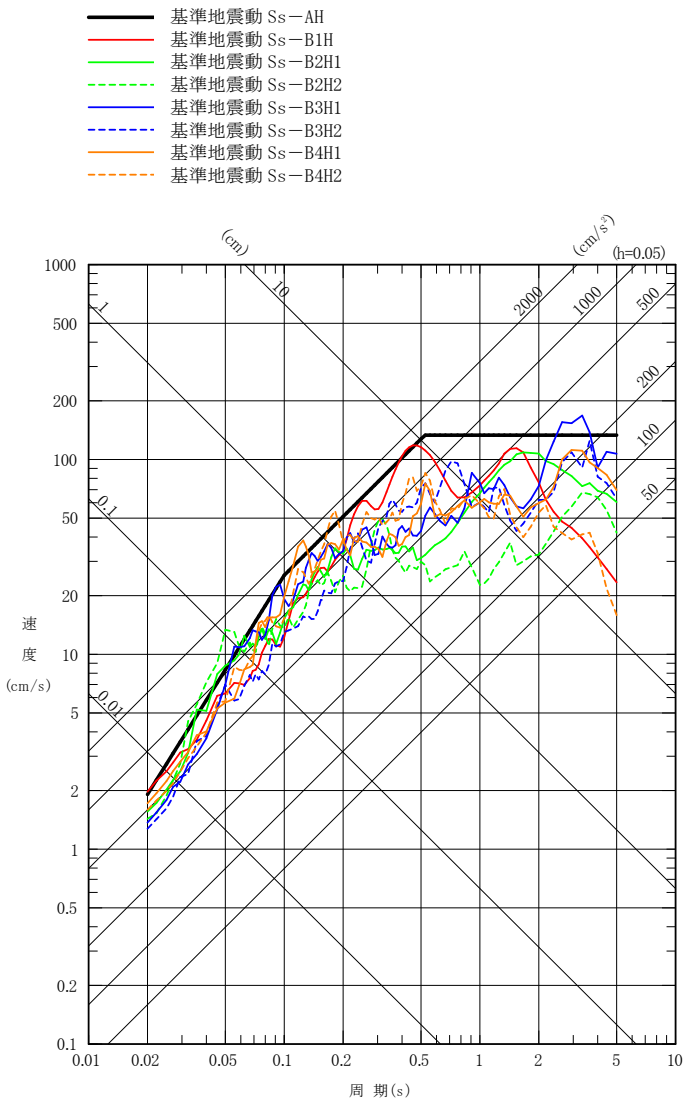
（注４）設備相互間の影響を考慮すべき設備とは，下位の耐震クラスに属するものの破損によって上位の分類に属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある設備をいう。

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

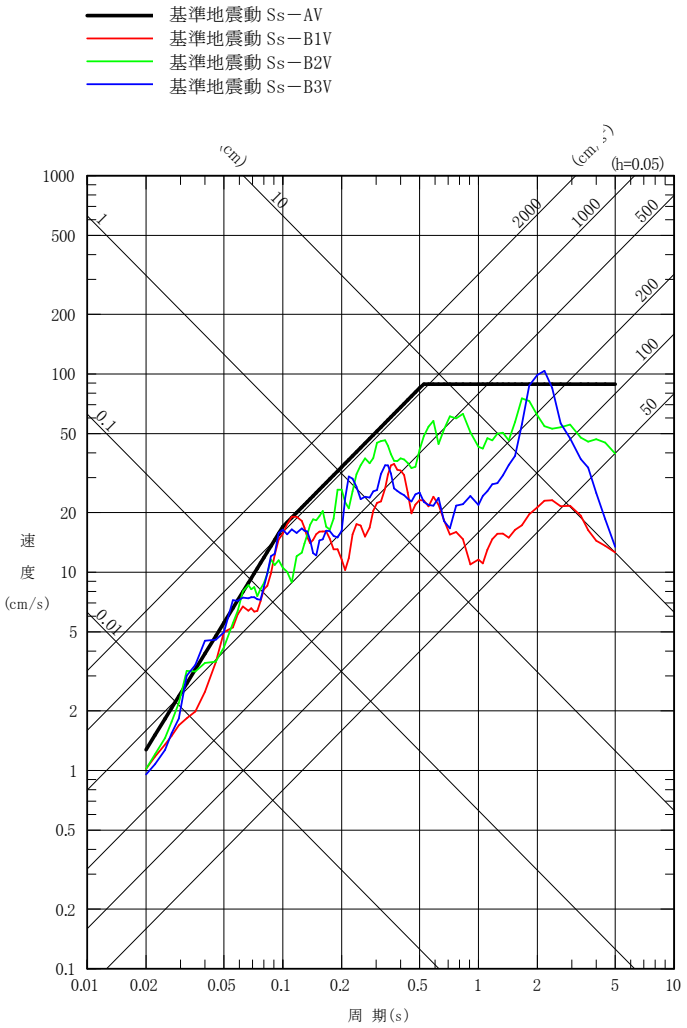
別添２

基準地震動及び弾性設計用地震動

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



水平方向



鉛直方向

別添２－１図　基準地震動の応答スペクトル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２－１表　基準地震動 Ss－A 及び Ss－B1～Ss－B4 の最大加速度振幅値

基準地震動		最大加速度振幅値（cm/s^2）		
		水平方向 1 (H1)	水平方向 2 (H2)	鉛直方向 (V)
Ss－A	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動	600		400
Ss－B1	2004 年北海道留萌支庁南部地震（K-NET 港町）	620		320
Ss－B2	2008 年岩手・宮城内陸地震（栗駒ダム右岸地山）	450	490	320
Ss－B3	2008 年岩手・宮城内陸地震（KiK-net 金ヶ崎）	430	400	300
Ss－B4	2008 年岩手・宮城内陸地震（KiK-net 一関東）	540	500	－

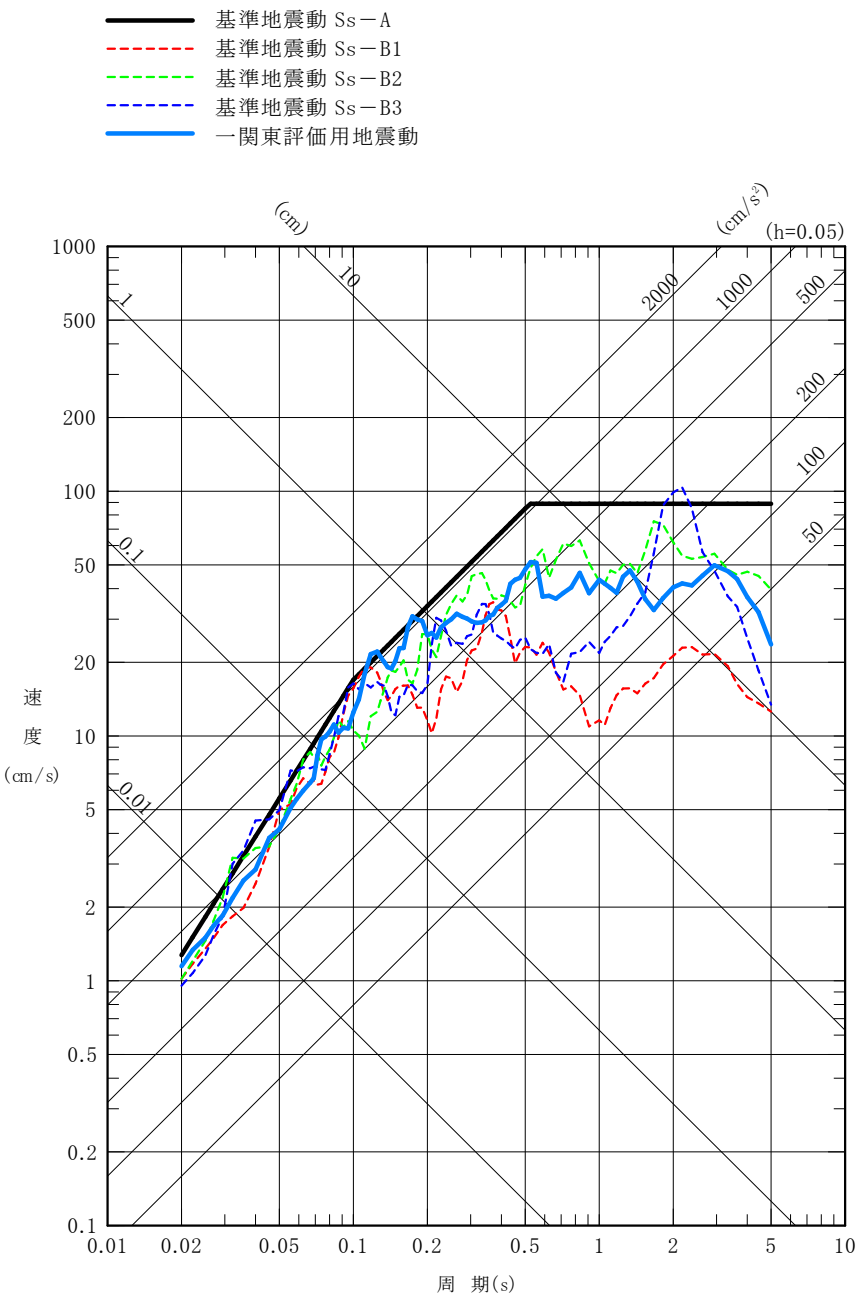
無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

別添２－２表　弾性設計用地震動 Sd－A 及び Sd－B1～Sd－B4

の最大加速度振幅値

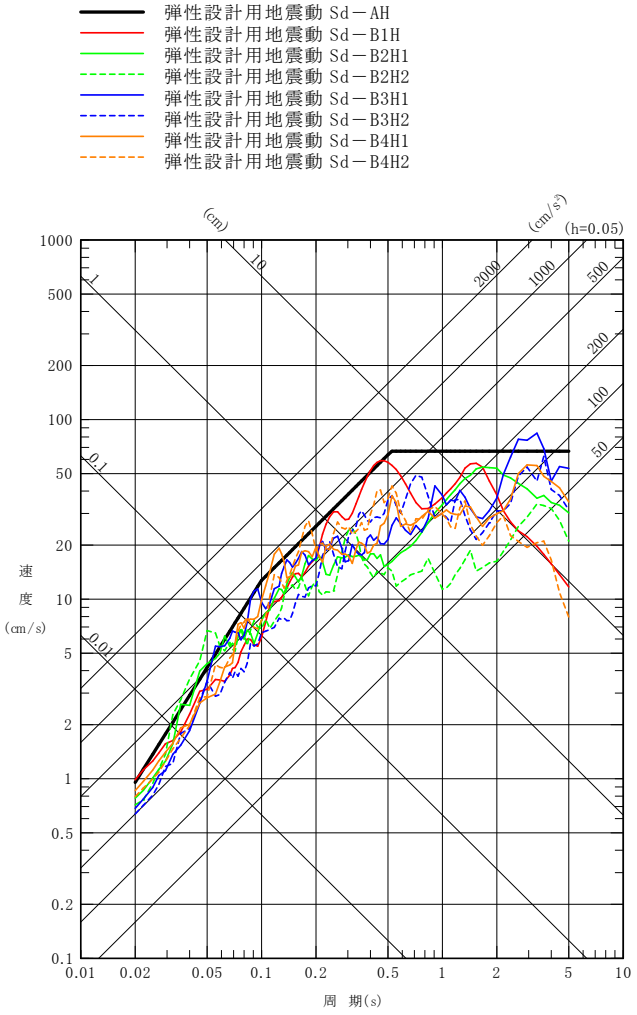
弾性設計用地震動	最大加速度振幅値（cm/s^2）		
	水平方向 1 (H1)	水平方向 2 (H2)	鉛直方向（V）
Sd－A	300		200
Sd－B1	310		160
Sd－B2	225	245	160
Sd－B3	215	200	150
Sd－B4	270	250	－

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社

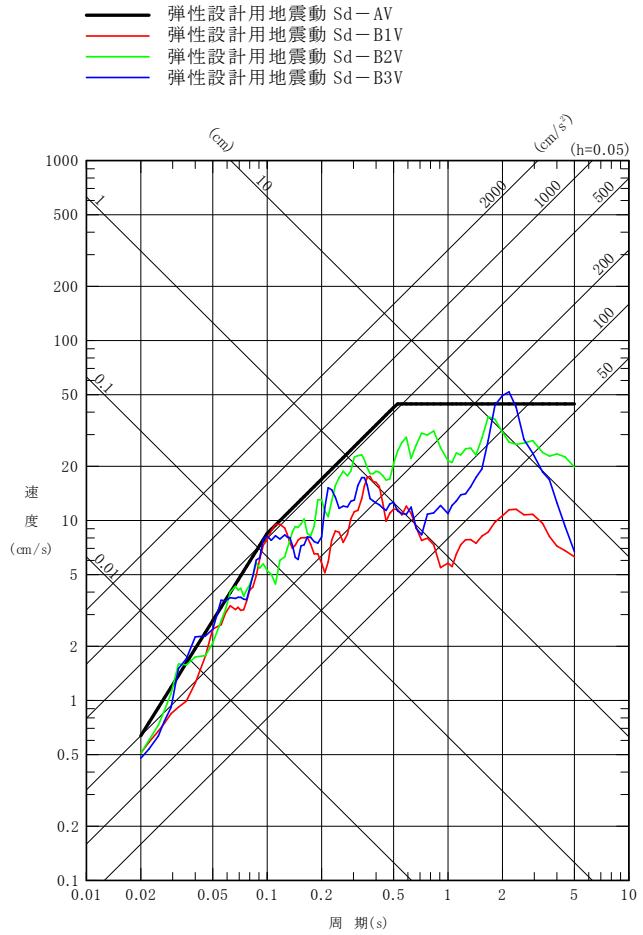


別添２－２図　一関東評価用地震動（鉛直方向）の応答スペクトル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社



水平方向



鉛直方向

別添２－３図　弾性設計用地震動の応答スペクトル

無断複製･転載禁止　リサイクル燃料貯蔵株式会社