

玄海原子力発電所 審査資料	
資料番号	D R Y - 1 - 9
提出年月日	2021年1月13日

玄海原子力発電所

設置許可基準規則への適合性について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

< 補足説明資料 >

2021年1月

九州電力株式会社

枠囲みの範囲は、防護上の観点又は商業機密に係る事項のため、公開できません。

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）への適合方針を説明する。

< 目 次 >

3 条 設計基準対象施設の地盤

4 条 地震による損傷の防止

5 条 津波による損傷の防止

6 条 外部からの衝撃による損傷の防止

7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条 火災による損傷の防止

9 条 溢水による損傷の防止等

11 条 安全避難通路等

12 条 安全施設

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

29 条 工場等周辺における直接線等からの防護

30 条 放射線からの放射線業務従事者の防護

- ・ 添付資料 1

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う条文の整理表

- ・ 添付資料 2

使用済燃料貯蔵量の推移

- ・ 添付資料 3

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

4 条
地震による損傷の防止

< 目 次 >

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置, 構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

1.4 手順等

2. 地震による損傷の防止

(別添1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の耐震設計方針

(別添2) 使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台の耐震評価について

(別添3) 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する波及的影響の検討について

(別添4) 貯蔵建屋の耐震重要度分類の整理について

(参考1) 乾式キャスク内の燃料集合体の全数破損及び乾式キャスクの閉じ込め機能喪失を想定した場合の敷地等境界線量に与える影響評価について

(参考2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のうち遮蔽機能を有する部位について

(参考3) 搬送台車の波及的影響について

(参考4) 使用済燃料乾式貯蔵建屋における地下水に対する設計方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋における地下水に対する設計方針

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、鉄筋コンクリート造の建物で、建物基礎は、基準地震動に対して支持性能を有する地盤にマンメイドロックを介して設置する。建物は地下階を有し、周囲の地盤は盛土地盤である。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性を確保するにあたり、地下水に対する設計方針を示す。

2. 地下水に対する設計方針

(1) 地下水位

使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計で用いる地下水位は、建物建設地における湧水サンプポンプによる地下水の排水を考慮した浸透流解析等を踏まえ設定する。

(2) 液状化

使用済燃料乾式貯蔵建屋周囲の地盤は、液状化のないように湧水サンプポンプによる排水設備を設置し、地下水を排水する設計とする。なお、建物直下は、マンメイドロックを介して岩盤で支持する設計であるため、液状化は発生しない。

(3) 揚圧力

使用済燃料乾式貯蔵建屋には、揚圧力を抑制するように湧水サンプポンプによる排水設備を設置し、地下水を排水する設計とする。

6 条

外部からの衝撃による損傷の防止

外部事象の考慮について
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

目 次

1. 設計方針
 - 1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計
 - 1.2 人為事象に対する設計

2. 自然現象の組合せについて

（資料）

- － 1 気象データの追加調査について
- － 2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の乾式キャスクへの影響について

使用済燃料乾式貯蔵建屋の乾式キャスクへの影響について

1. 概要

第6条第1項及び第3項の要求に対して、安全重要度分類のクラス3施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針を「別添1 外部事象の考慮について（使用済燃料乾式貯蔵建屋）」に記載している。

一方、乾式キャスク審査ガイドでは、使用済燃料乾式貯蔵建屋を設置する場合は、損壊モードを考慮して、乾式キャスクの安全機能に影響がないことを確認する必要があることから、建屋の設計方針を踏まえた乾式キャスクへの影響を第1表に示す。

第1表 各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋設計を踏まえた乾式キャスクへの影響について

事象	建屋設計を踏まえた乾式キャスクへの影響	
自然現象	風 (台風)	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、設定した風荷重に対し機械的強度を有することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
	竜巻	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に記載。
	凍結	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	降水	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	積雪	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、設定した積雪荷重に対し機械的強度を有することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
	落雷	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	火山の影響	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、コンクリート造で頑健な構築物であり、除灰等の安全上必要な措置により建屋の頑健性は確保されるため、乾式キャスクに影響を与えない。
	生物学的事象	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	森林火災	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	高潮	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、高潮の影響がない敷地の整地レベルであるEL.+24.5mに設置することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
自然現象による荷重の組合せ	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、コンクリート造で頑健な構築物であり、自然現象による荷重の組合せ(風(台風)、積雪及び火山)に対し除灰等の安全上必要な措置により建屋の頑健性は確保されるため乾式キャスクに影響を与えない。	
人為事象	爆発	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	近隣工場等の火災	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	有毒ガス	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	船舶の衝突	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、船舶の衝突の影響を受けることのない敷地高さ(EL.+24.5m)に設置することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
	電磁的障害	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	飛来物 (航空機落下)	飛来物(航空機落下)による建屋損壊は、確率的要因により設計上考慮する必要はない。

第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(竜巻)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)

(別添資料1) 竜巻に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 設計方針

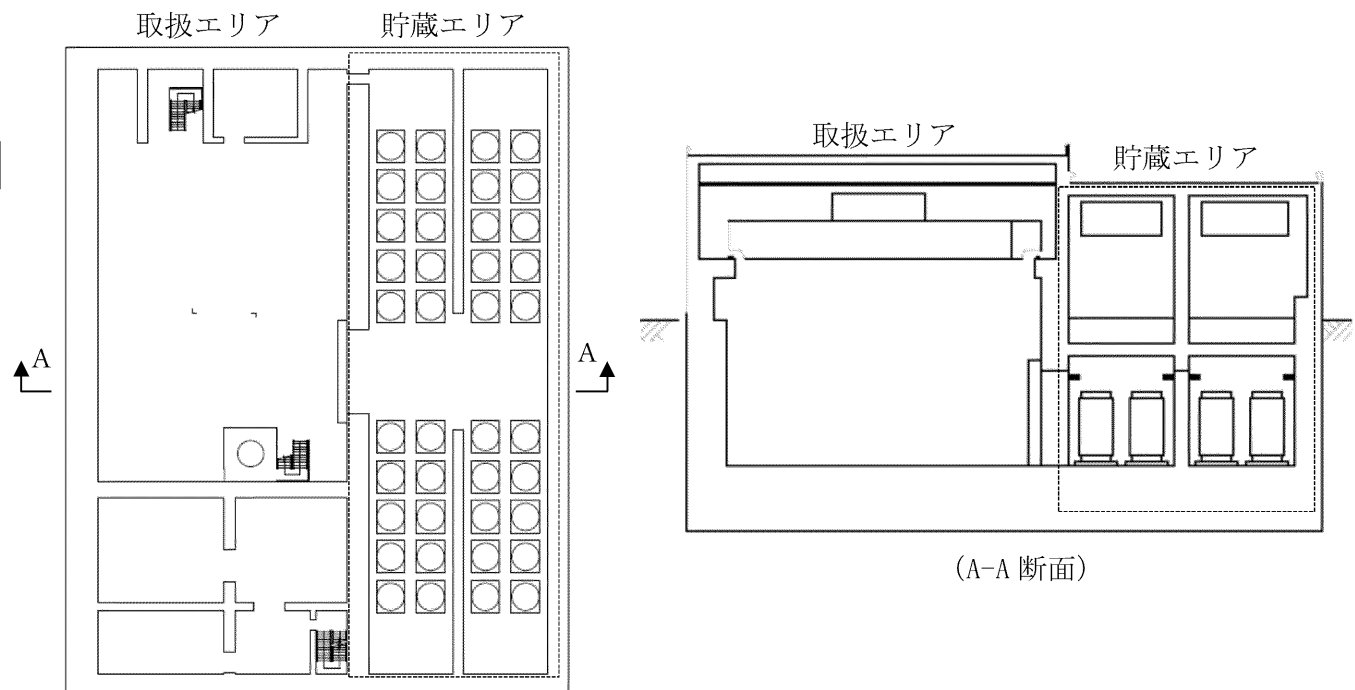
竜巻防護施設を内包する施設の設計は、設計荷重に対して構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損より当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計としている。

ただし、設計荷重による影響により当該建屋内の竜巻防護施設に影響を及ぼす場合には、必要により竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施するとしている。

乾式貯蔵建屋のうち貯蔵エリアについては、貯蔵時の敷地等境界線量の影響評価において、敷地等境界線量の目標値である年間 $50\mu\text{Sv}$ 以下を満足するためには、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい機能が必要であることから、竜巻防護設計においても貯蔵エリアについては、設計竜巻による荷重に対し構造健全性を維持することで、乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

乾式貯蔵建屋のうち取扱エリアについては、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は乾式キャスク取扱中であるため作業員がいることから、竜巻の発生が予想される場合には設計飛来物の侵入を考慮して、乾式キャスクを設計飛来物の影響を受けない位置へ移動する運用とする。

乾式貯蔵建屋の概略図を第1図に示す。



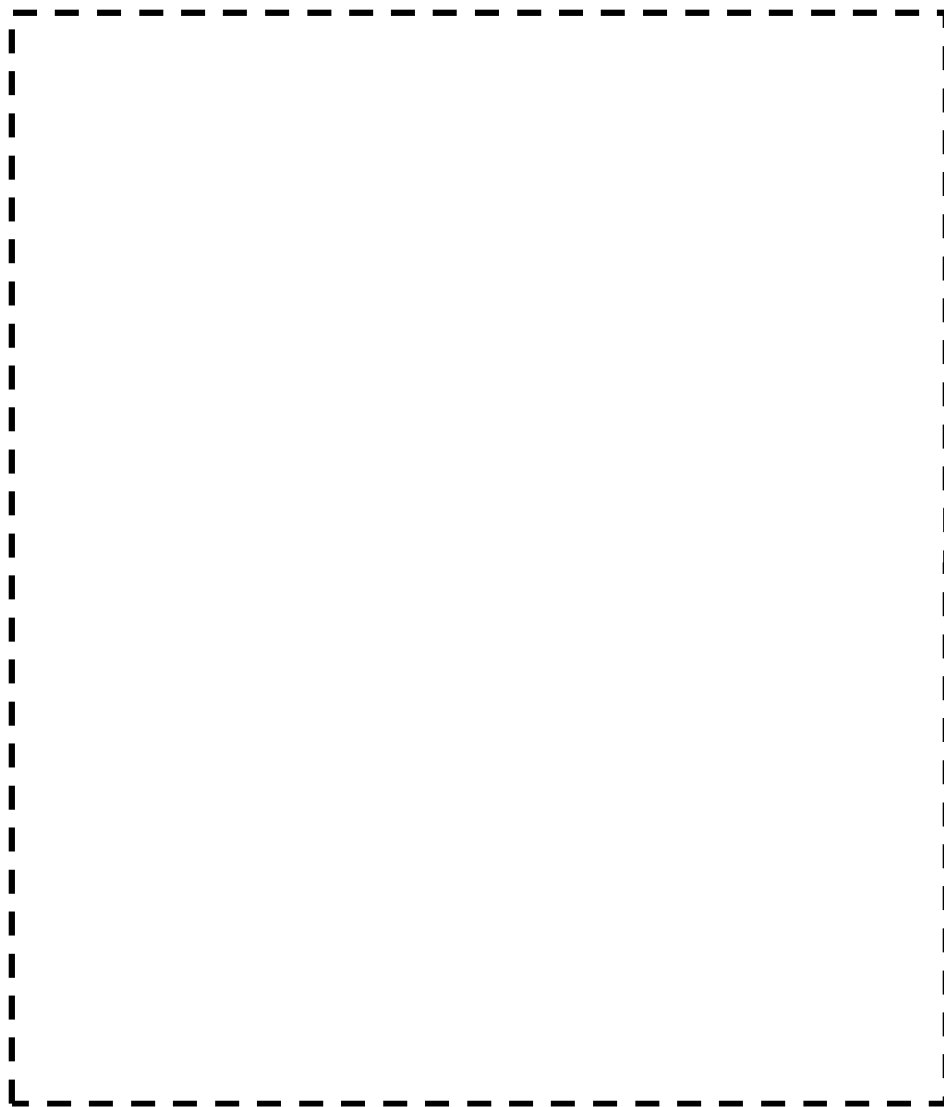
第1図：乾式貯蔵建屋の概略図

2. 建屋外周部建具の損傷による影響確認


建屋外周部建具に飛来物が衝突し損傷が生じ、建屋内に飛来物が侵入した場合の影響を確認した。

搬出入口からの設計飛来物の侵入を考慮し、設計飛来物が乾式キャスクに衝突しないよう、竜巻の発生が予測される場合には乾式キャスクを飛来物の影響を受けない位置に移動する。

飛来物による影響範囲を第2図に示す。



第2図：飛来物影響範囲

：防護上の観点から公開できません

3. 運用方針

取扱エリアにおける竜巻発生が予想される場合の乾式キャスク移動に係る運用について、竜巻監視体制や作業性を考慮した運用方針を示す。

3. 1 竜巻監視体制

竜巻発生監視は、雷注意報（付加事項：竜巻又は突風）、竜巻発生確度ナウキャスト又は雷ナウキャストの情報を活用して実施している。また、入手した情報に応じて、当直課長より放送設備を用いて発電所内へ竜巻注意喚起又は竜巻準備体制を発令し、発令を確認した作業員等は、必要な対応を行うよう社内規定文書に定めて運用している。

(1) 「竜巻注意喚起」の発令及び対応

竜巻注意喚起の発令は、以下のいずれかに該当する場合に発令され、発令を確認した作業員等は、竜巻準備体制が発令された場合に備え、退避場所、車両退避ルートを確認を行う。

- ・ 玄海町及び唐津市の2つのエリアのうち、いずれかに「雷注意報」が発表され、その注意報に付加事項として「竜巻」又は「突風」を確認したとき。
- ・ 玄海原子力発電所を中心とした南北50km×東西50kmの範囲内において竜巻発生確度ナウキャスト「発生確度1」以上又は雷ナウキャスト「活動度2」以上を確認したとき。

(2) 「竜巻準備体制」の発令及び対応

竜巻準備体制の発令は、以下に該当する場合に発令され、発令を確認した作業員等は、竜巻防護扉の閉止、避難場所への退避、停車車両の退避、クレーン作業の中止等の対応を速やかに行う。

- ・ 玄海原子力発電所の上空となる南北10km×東西10kmの範囲内において竜巻発生確度ナウキャスト「発生確度2」かつ雷ナウキャスト「活動度3」以上を確認したとき。

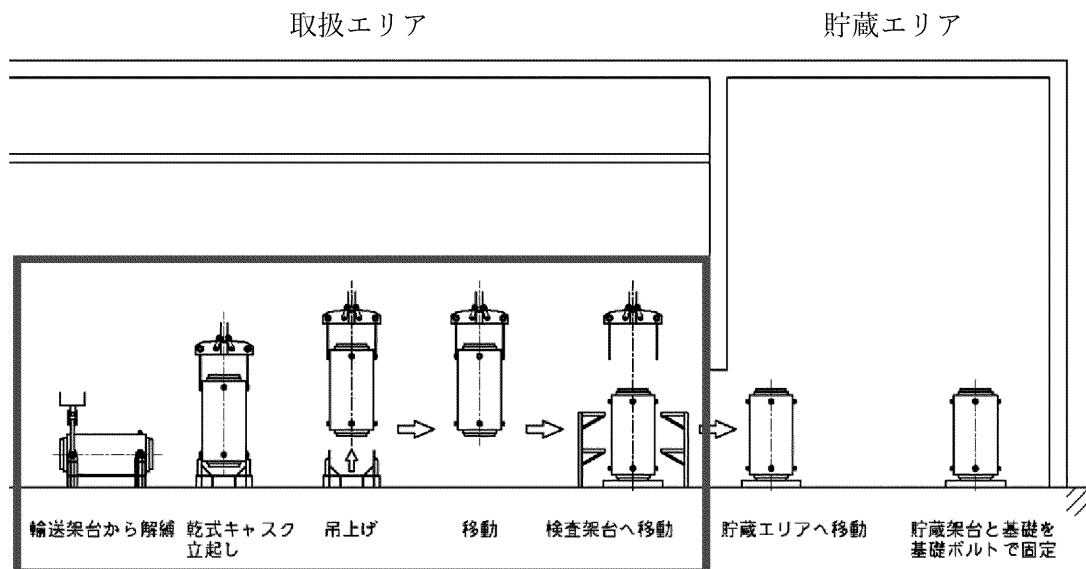
3. 2 乾式キャスク移動の作業性

乾式キャスクが飛来物影響範囲に存在する工程は、第3図に示す「輸送架台から解縛」から「検査架台へ移動」時であり、乾式キャスク立起し位置から飛来物影響範囲外への移動に要する時間は、第1表に示す運搬距離等から約15分程度である。

また、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は、乾式キャスク取扱中であり作業員が常駐しているため、竜巻準備体制発令後に速やかに移動作業に取り掛かることができる。

3. 3 具体的な運用方針

以上より、取扱エリアに乾式キャスクが存在する場合は、「竜巻準備体制発令後に速やかに乾式キャスクを飛来物影響範囲外へ移動する」こととする。



第3図：作業工程概略図

第1表：乾式キャスク運搬距離及び天井クレーン性能

乾式キャスク運搬距離 (縦起し位置から検査架台まで)		水平	約 15 m
		鉛直	約 4 m
天井クレーン 性能	移動速度	走行	18 m/min
		横行	6.0 m/min
	卷上/卷下速度		

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

1. 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について

貯蔵容量に関する要求事項は以下のとおりである。

①設置許可基準規則第16条第2項一号ロ

- ・燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。

使用済燃料乾式貯蔵施設（以下、「乾式貯蔵施設」という）は、全炉心燃料の最大約500%相当分とする。

使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料ピット（貯蔵容量1,672体）において全炉心燃料（193体）及び1回の燃料取替え（68体）に必要とする貯蔵容量を確保することとしている。また、使用済燃料ピット及び乾式貯蔵施設（貯蔵容量最大960体）の貯蔵容量は、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕を持たせた設計とする。

なお、取扱中の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という）内の燃料を取り出す容量は貯蔵余裕において確保している。

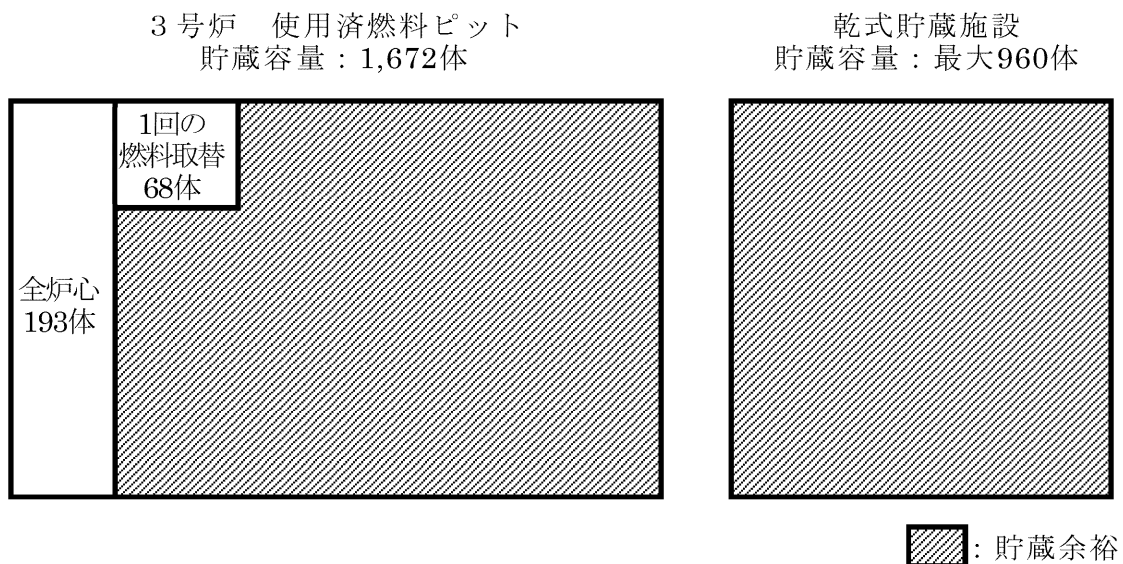


図1 貯蔵容量の考え方（3号炉使用済燃料ピットの例）

2. 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について

2.1 乾式キャスクの概要

乾式キャスクとは、使用済燃料を乾式貯蔵施設へ搬入し、貯蔵終了後、再処理工場にそのまま搬出することが可能な輸送貯蔵兼用容器である。

乾式キャスクは、14×14型燃料（1号及び2号炉用）、17×17型燃料（3号炉及び4号炉用）を収納するタイプ1（MSF-21P型）、及び17×17型燃料（3号炉及び4号炉用）を収納するタイプ2（MSF-24P型）の2タイプである。

乾式キャスクは、乾式キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成し、下部トラニオンと貯蔵架台を固定装置で固定するとともに、貯蔵架台を基礎ボルトで乾式貯蔵施設内の基礎に固定する。乾式キャスクの構造を第2-1図～第2-4図、乾式キャスク仕様を第2-1表に示す。

(1) 乾式キャスク本体

乾式キャスク本体は、胴、レジン及び外筒等で構成する。

胴及び外筒は炭素鋼製でガンマ線遮蔽材であり、レジン は中性子遮蔽材である。

乾式キャスク本体の取り扱いのために、上部トラニオン及び下部トラニオンを取り付ける。

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成する。

一次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付け、閉じ込め境界を構成する。一次蓋に充填するレジン は中性子遮蔽材、一次蓋の炭素鋼はガンマ線遮蔽材である。

二次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付ける。

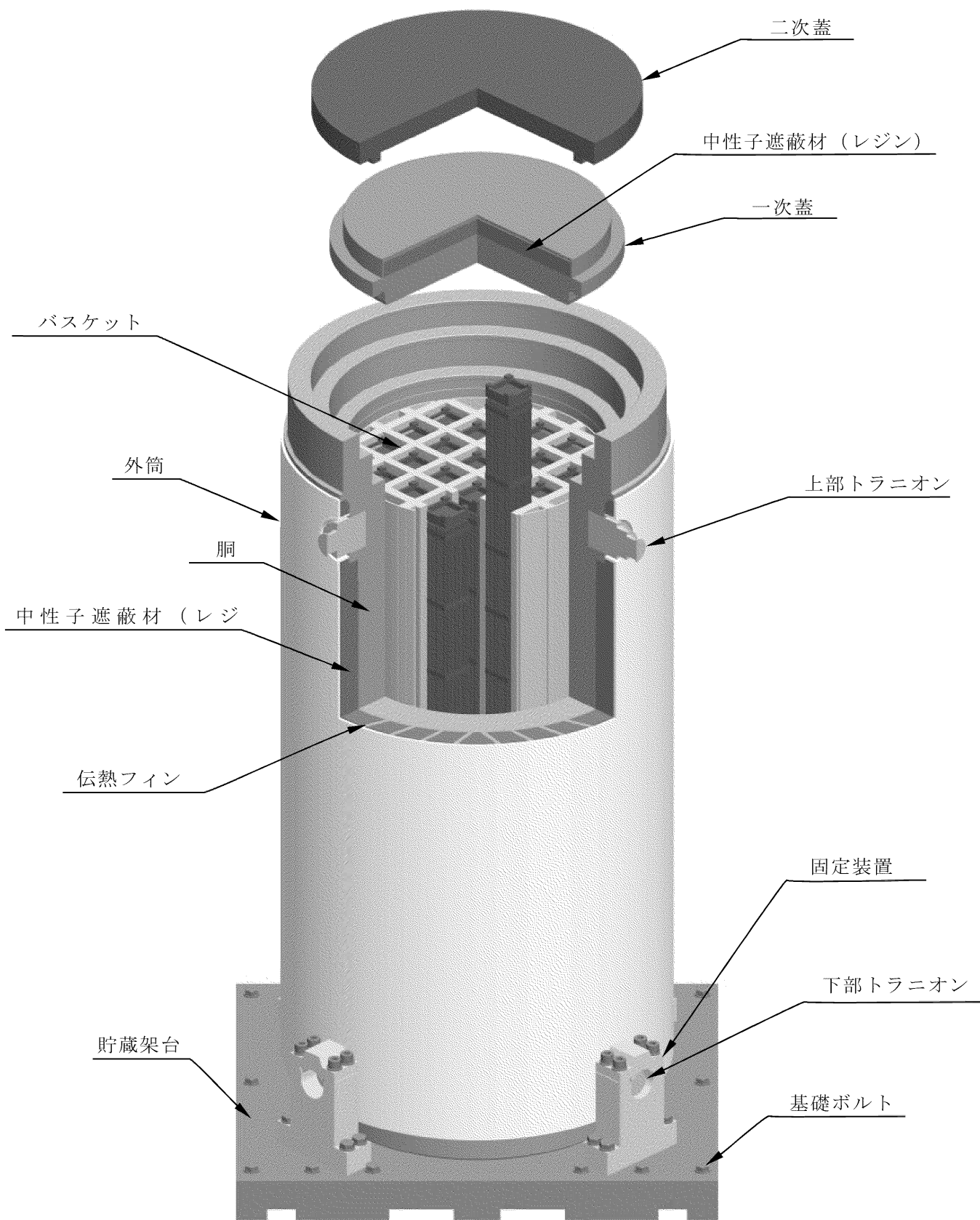
一次蓋のシール部には長期にわたって閉じ込め機能を維持するため、また、二次蓋のシール部には圧力監視境界を設けて閉じ込め監視境界を形成するために金属ガスケットを取り付ける。

(3) バスケット

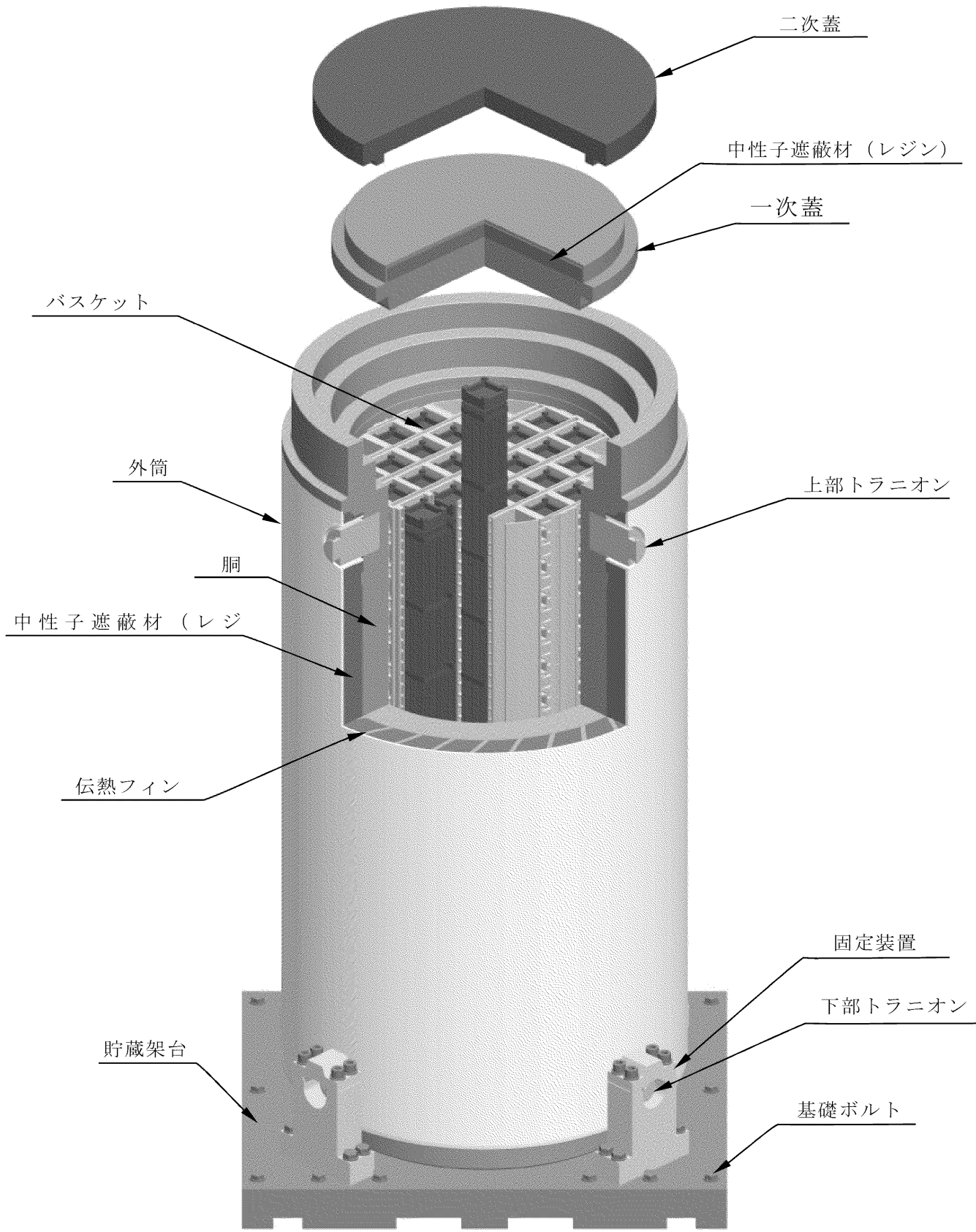
バスケットは断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケット

トプレートで構成する格子構造とし、個々の使用済燃料を乾式キャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納する。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置する。

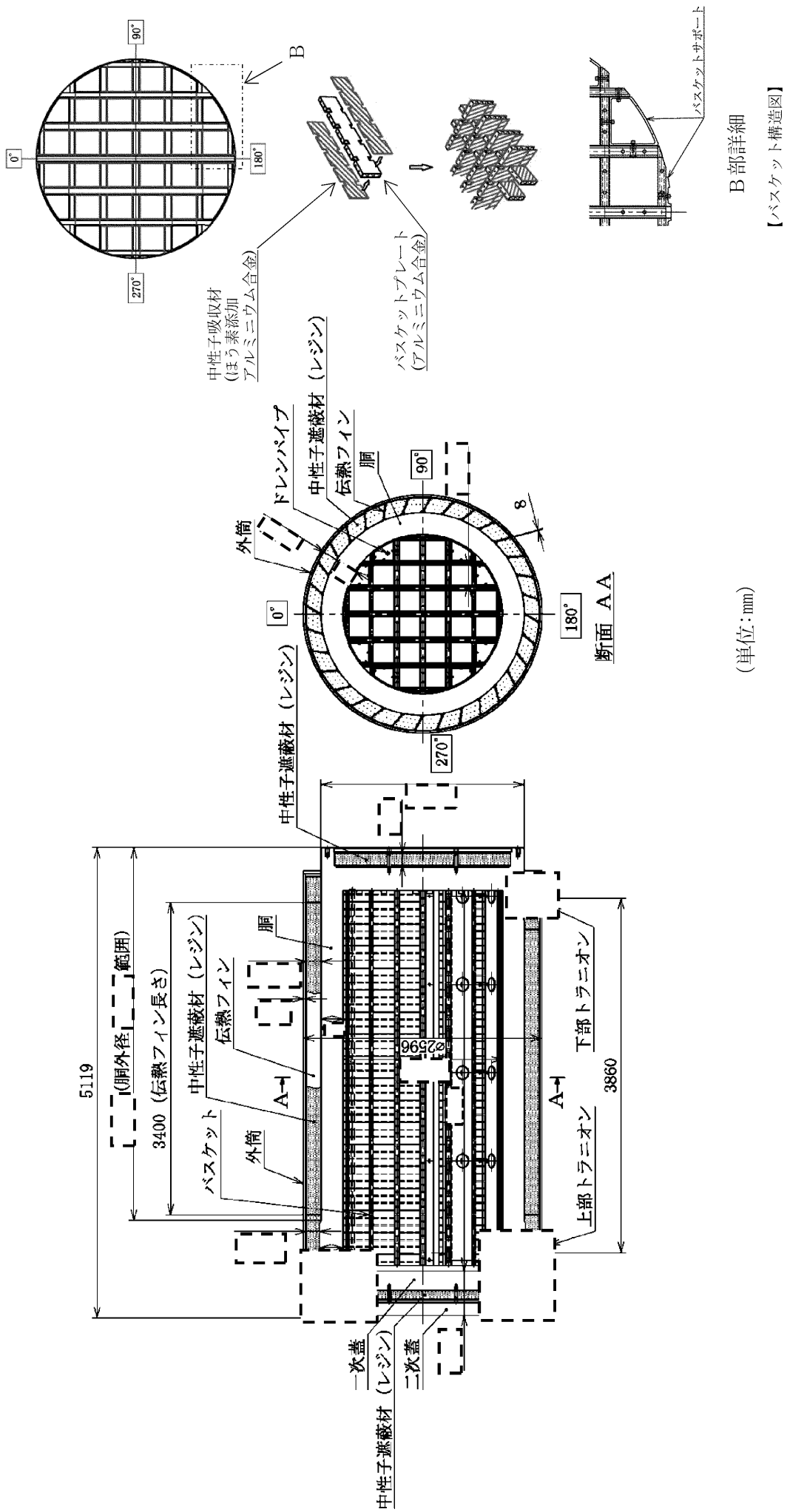
なお、MSF-21P 型について、14×14 型燃料を収納する場合は、バスケットの格子内へバスケットスペーサを設置する。



第2-1図 乾式キャスクの構造（MSF-21P型）



第2-2図 乾式キャスクの構造 (MSF-24P型)



(単位:mm)

第2-4 図 乾式キヤスク断面図 (MSF-24P 型)

⌋ : 商業機密に係る事項のため公開できません

第 2-1 表 乾式キャスク仕様

項 目		仕 様	
乾式キャスク型式		MSF-21P 型	MSF-24P 型
全質量（使用済燃料集合体を含む）		約 114 t	約 117 t
寸 法	全 長	約 5.2 m	約 5.2 m
	外 径	約 2.6 m	約 2.6 m
最 大 収 納 体 数		21 体	24 体
主 要 材 質	乾式キャスク本体		
	胴（ガンマ線遮蔽材）	炭素鋼	炭素鋼
	外筒（ガンマ線遮蔽材）	炭素鋼	炭素鋼
	ト ラ ニ オ ン	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	中 性 子 遮 蔽 材	レジン	レジン
	伝 熱 フ ィ ン	銅	銅
	蓋 部		
	一 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼
	二 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼
	蓋 ボ ル ト	ニッケルクロムモリブデン鋼	ニッケルクロムモリブデン鋼
バ ス ケ ッ ト	アルミニウム合金 (中性子吸収材を配置)	アルミニウム合金 (中性子吸収材を配置)	
バスケットスペーサ※	アルミニウム合金	—	
内 部 充 填 ガ ス		ヘリウムガス	ヘリウムガス
シ ー ル 材		金属ガスケット	金属ガスケット

※ 14×14 型燃料を収納する場合に使用（MSF-21P 型のみ）

3. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について

乾式キャスクへ収納する使用済燃料仕様を第3-1表及び第3-2表に、使用済燃料に挿入して収納することができるバーナブルポイズン集合体仕様を第3-3表に示す。また、使用済燃料の収納配置を第3-1図及び第3-2図に示す。

乾式キャスク（MSF-21P型及びMSF-24P型）には3号炉及び4号炉で使用された17×17型燃料を区別なく混載可能である。また、乾式キャスク（MSF-21P型）には1号炉及び2号炉で使用された14×14型燃料を区別なく混載可能であるとともに、1号炉及び2号炉用燃料と3号炉及び4号炉用燃料を同一容器に収納しない。なお、運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料を収納する。

乾式キャスクへの使用済燃料の収納にあたっては、次頁以降に示す収納条件を満足することを確認したうえで収納する。

第3-1表 使用済燃料仕様 (MSF-21P型) (1/2)

項目		仕様			
		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		17×17燃料 (燃焼度 48GWd/t 以下) ※ ¹			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 214			
	全長 (mm)	約 4,100			
質量 (kg 以下)		約 680			
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度 (wt% 以下)	約 4.1			
	最高燃焼度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		44	
	冷却期間 ※ ² (年以上)	15	20	15	20
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		44			

※¹ 3号炉及び4号炉燃料。なお、3号炉と4号炉の燃料及びA型とB型は区別なく混載可能である。

※² B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却期間を設定している。

第3-1表 使用済燃料仕様 (MSF-21P型) (2/2)

項目		仕様			
		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		14×14燃料 (燃焼度 55GWd/t 以下) ※1			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 197			
	全長 (mm)	約 4,100			
質量 (kg 以下)		約 600			
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度 (wt% 以下)	約 4.8			
	最高燃焼度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	55		47※2	
	冷却期間 (年以上)	15			
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		43			

※1 1号炉及び2号炉燃料。なお、1号炉と2号炉の燃料及びA型とB型は
区別なく混載可能である。

※2 55GWd/t 燃料も収納可能。

第3-2表 使用済燃料仕様 (MSF-24P型)

項目		仕様			
		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		17×17燃料 (燃焼度 48GWd/t 以下) ※ ¹			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 214			
	全長 (mm)	約 4,100			
質量 (kg 以下)		約 680			
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度 (wt% 以下)	約 4.1			
	最高燃焼度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		44	
	冷却期間 ※ ² (年以上)	15	17	15	17
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		44			

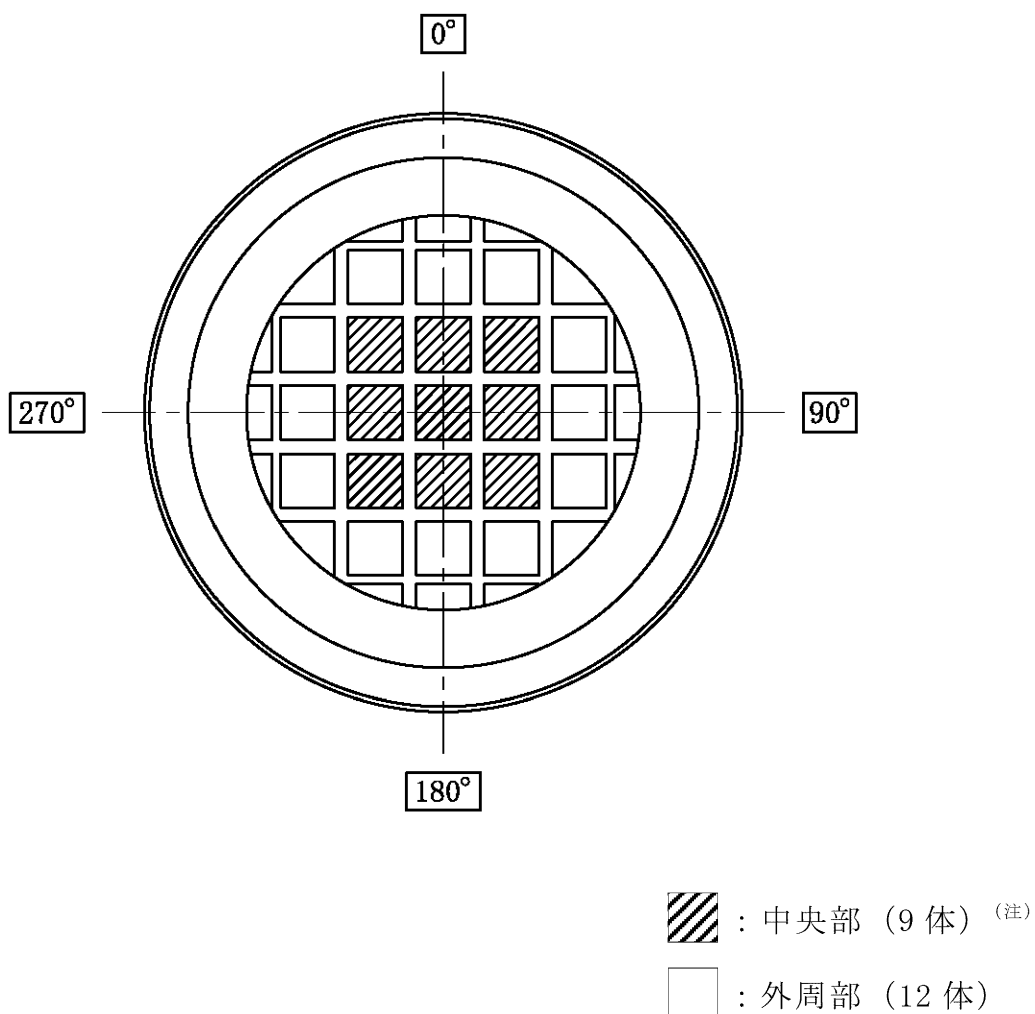
※¹ 3号炉及び4号炉燃料。なお、3号炉と4号炉の燃料及びA型とB型は
区別なく混載可能である。

※² B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却
期間を設定している。

第3-3表 バーナブルポイズン集合体仕様

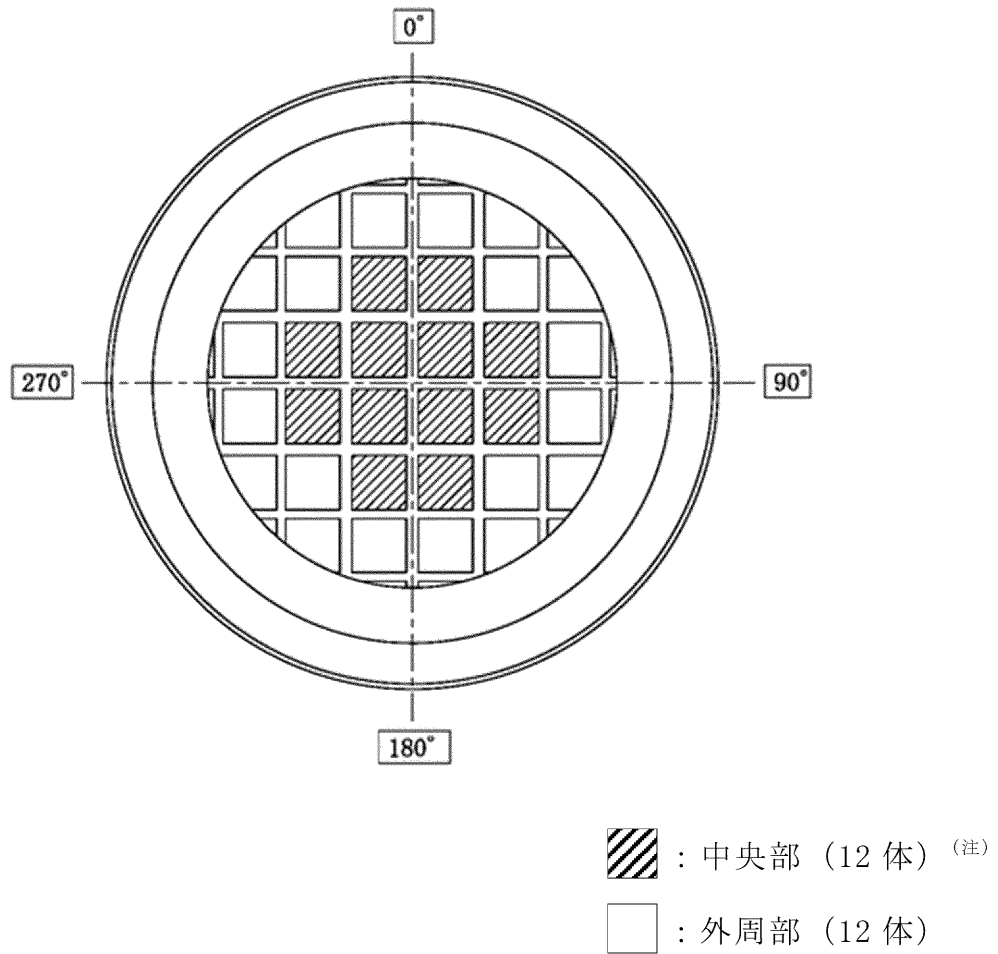
項 目		仕 様			
バーナブルポイズン集合体の種類		17×17 燃料用		14×14 燃料用	
		A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 (m m)	約 161		約 140	
	全 長 (m m)	約 4,000		約 4,000	
質 量 (kg 以下)		約 29		約 18	
照 射 期 間 (日 以 下)		1,200(約 46Gwd/t 相当) ※ 2,344(約 90Gwd/t 相当) ※		2,671 (約 90Gwd/t 相当)	
冷 却 期 間 (年 以 上)		15	20* 15*	15	

※上段は MSF-21P 型、下段は MSF-24P 型の仕様を示す。



(注) 中央部には燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で乾式キャスクに収納することができる。

第 3-1 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-21P 型)



(注) 中央部には燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で乾式キャスクに収納することができる。

第 3-2 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-24P 型)

4. 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について

4.1 要求事項

乾式キャスクの設計貯蔵期間に関する要求事項は以下のとおりである。

- (1) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.6 設計貯蔵期間」には以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

設計貯蔵期間は、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

』

【確認内容】

『

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

』

4.2 適合性について

乾式キャスクの設計貯蔵期間については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

乾式キャスクの設計貯蔵期間は60年とし、設置（変更）許可申請書で明確にする。

また、設計貯蔵期間中の乾式キャスクの材料及び構造の健全性については、6.にて説明する。

5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について

3. の使用済燃料の収納条件を踏まえ、MSF-21P型及びMSF-24P型の各解析条件の概要を第5-1表及び第5-2表に示す。

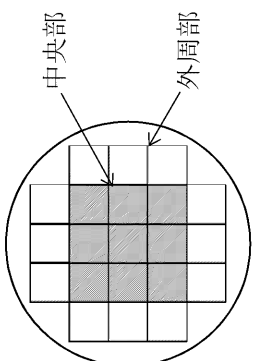
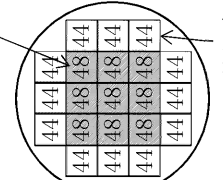
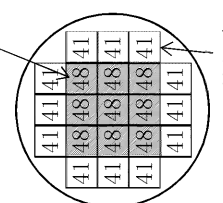
1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を、専用の乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）にて貯蔵することで、4つの安全機能（閉じ込め、臨界防止、遮蔽、除熱）が確保できる設計とする。また、1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という）が乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）の除熱機能を阻害しない設計とする。

本項では、乾式キャスクの通常貯蔵時[※]のうち、乾式キャスクを静置している状態における4つの安全機能について説明し、通常取り扱い時の評価は7項で説明する。

なお、乾式キャスク収納条件、配置条件に適合する使用済燃料であることを確認のうえ、乾式キャスクへ収納する。

※：発電所敷地内において兼用キャスクを通常に取り扱い、又は静置している状態をいう。

第5-1表 (1/2) 乾式キヤスク解析条件の概要 MSF-21P型 (17×17型燃料収納時)

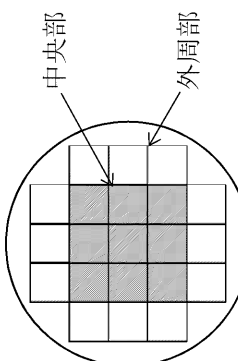
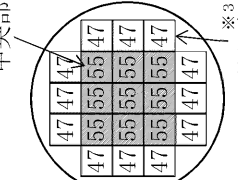
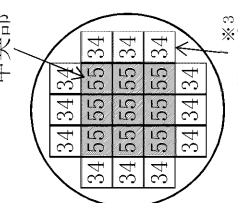
燃料 集合体 1体の 仕様	キヤスク収納制限 配置制限		燃料スペースック	解析条件		
	中央部	外周部		臨界	遮蔽	除熱
燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	17×17型 (A型)	中央部	外周部
初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1			
ウラン重量 (kg)	≤48		≤44	0	48	41*1
最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	A型：≥15 B型：≥20		—	—	15	15
SFPでの冷却期間 (年)	—		—	—	—	—
最高燃焼度 (GWd/t)	≤46		—	—	46	—
SFPでの冷却期間 (年)	A型：≥15 B型：≥20		—	—	15	—
キヤスク 1基あたり	≤44		—	0	—	44
配置※2						

※1：外周部12体は、乾式キヤスク全体の燃焼度が平均44GWd/tになるよう41GWd/tとしている。

※2：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません

第5-1表 (2/2) 乾式キヤスク解析条件の概要 MSF-21P型 (14×14型燃料収納時)

収納物仕様	燃料タイプ	キヤスク収納制限 配置制限		燃料スペースック		解析条件		
		中央部	外周部	中央部	外周部	臨界	遮蔽	除熱
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	14×14型 (A/B型)		14×14型 (A/B型)		※1 14×14型	14×14型 (B型)	14×14型 (A型)
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.9		4.8	4.1			
	ウラン重量 (kg)	≤47		≤55	≤48	0	55	55
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≥15		—	—	—	15	15
バーナブル ホイストン	SFPでの冷却期間 (年)	≥15		—	—	—	—	—
	最高燃焼度 (GWd/t)	—		≤90	—	—	90	—
	SFPでの冷却期間 (年)	—		≥15	—	—	15	—
キヤスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤43		—	—	0	—	43
	配置※4							

※1：臨界解析において14×14型燃料はA型及びB型で仕様が同じとなるため、解析条件としてA型とB型の区別をしない。

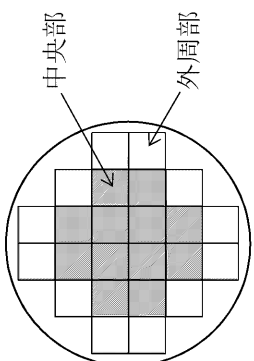
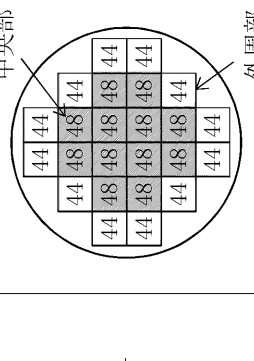
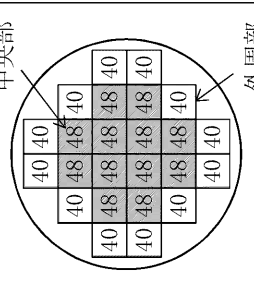
※2：外周部12体は、乾式キヤスク全体の発熱量が平均43GWd/tになるよう34GWd/tとしている。

※3：48GWd/t型燃料を収納する条件とする。実燃焼度が同じであれば、55GWd/t型燃料に比べ48GWd/t型燃料のほうが、線源強度及び発熱量が厳しい条件となる。

※4：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

【 】：商業機密に係る事項のため公開できません

第5-2表 乾式キヤスク解析条件の概要 (MSF-24P型)

収納物仕様	燃料タイプ	キヤスク収納制限 配置制限		燃料スペースック	解析条件			
		中央部	外周部		臨界	遮蔽	除熱	
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	17×17型 (A型)	中央部	外周部	17×17型 (A型)
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1				
	ウラン重量 (kg)	≤48		≤44	0	48	44	48
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48		≤44	≤48	48	44	48
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥17			—	15	15	15
	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90		—	—	90	—	—
	SFPでの冷却期間 (年)	≥15		—	—	15	—	—
	キヤスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		—	0	—	44
		配置※2						

※1：外周部12体は、乾式キヤスク全体の燃焼度が平均44GWd/tになるよう40GWd/tとしている。

※2：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません

なお、各解析については、第5-3表及び第5-4表のとおり、三菱重工業㈱が型式設計特定容器等の型式指定を受けたMSF-21P型での設計等で使用した解析コード及びライブラリと同等のものを使用しており、特殊性及び新規性はない。

第5-3表 解析コード（ライブラリ含む）比較

評価項目	解析コード	
	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P型及びMSF-24P型
臨界	SCALE 4.4a (KENO-V.a) ／ (燃料領域均質化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-V 238群)	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-VII 252群)
遮蔽	ORIGEN2 DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)
除熱	ORIGEN2 ABAQUS	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) ABAQUS

第5-4表 解析における変更箇所

	変更項目	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P型 及びMSF-24P型
臨界	・コード ／モデル化 ・断面積 ライブラリ	SCALE 4.4a (KENO-V.a) ／ (燃料領域均質化) ENDF/B-V 238群	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) ENDF/B-VII 252群
遮蔽	・断面積 ライブラリ	MATXSLIB-J33	MATXSLIB-J33
除熱	・解析モデル	2D モデル (モデル検証に3Dモデルを適用)	3D モデル

- 5.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能について
乾式キャスクの閉じ込め機能を別添1に示す。
- 5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能について
乾式キャスクの臨界防止機能を別添2に示す。
- 5.3 使用済用済燃料乾式貯蔵容器の遮蔽機能について
乾式キャスクの遮蔽機能を別添3に示す。
- 5.4 使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について
乾式キャスクの除熱機能を別添4に示す。

9. 自然現象等に対する使用済燃料乾式貯蔵施設の設計方針

兼用キャスクの安全機能の喪失及びそれに続く公衆への放射線による影響を防止する観点から、使用済燃料乾式貯蔵施設の設備ごとの設計方針を示す。

9.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能について

乾式貯蔵施設は、兼用キャスク及び周辺施設等から構成されるため、乾式貯蔵施設を構成する設備を以下の考えに基づき第9-1表のとおり分類するとともに、兼用キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能をまとめる。

ここで、地盤及び周辺斜面については、兼用キャスクに影響を及ぼさないよう第3条2項、3項及び第4条第7項に基づき、安定な地盤及び周辺斜面に乾式貯蔵施設を設置する設計とする。詳細については、地盤に係る安全審査資料に示す。

兼用キャスクは、安全機能を維持するために、それ自体で以下の必要な機能を有しており、乾式キャスクが該当する。

- ・ 兼用キャスクを地震による損傷の防止（第4条第1項、第2項、第6項及び第7項）
- ・ 兼用キャスクを津波による損傷から防護するもの（第5条第2項）
- ・ 兼用キャスクを外部からの衝撃による損傷から防護するもの（第6条第4項及び第6項）
- ・ 兼用キャスクを火災による損傷の防止（第8条第1項）
- ・ 兼用キャスクを溢水による損傷の防止（第9条第1項）
- ・ 兼用キャスクの安全機能の維持（第16条第2項及び第4項）

周辺施設は、兼用キャスクである乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有するものと考えられることから、

- ・ 兼用キャスクを地震による損傷から防止するもの : 貯蔵架台、
(兼用キャスクと相まって耐震性を確保するもの) 基礎ボルト、
(第4条第1項、第2項、第6項及び第7項) 基礎、
乾式貯蔵建屋^{※1}
- ・ 兼用キャスクを津波による損傷から防護するもの : 乾式貯蔵建屋
(第5条第2項)
- ・ 兼用キャスクを外部からの衝撃による損傷から防護 : 乾式貯蔵建屋
するもの (第6条第4項及び第6項)
- ・ 兼用キャスクを火災による損傷から防護するもの : 乾式貯蔵建屋
(第8条第1項)
- ・ 兼用キャスクの安全機能の維持を監視するもの : 乾式キャスク圧力計、
(第16条第4項) 乾式キャスク表面温度計、
乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計
- ・ 兼用キャスクの遮蔽機能を補完するもの : 乾式貯蔵建屋
(第29条第1項、第30条第1項～第3項)
- ・ 兼用キャスクを通常に取扱うために必要なもの : 乾式貯蔵建屋天井クレーン^{※1}、
(第16条第2項) 乾式キャスク搬送台車
が該当する。

※1 乾式キャスクに波及的影響を及ぼさないよう設計とするもの

ここで、周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、乾式キャスクの直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動 S_s による地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように、特段の機能を有する設備^{※2}として設計する。

一方、周辺施設のうち、乾式貯蔵建屋、乾式キャスク蓋間圧力計、乾式キャスク表面温度計、乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、乾式貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車は、乾式キャスクの安全

機能が損なわれるおそれがないことから、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。なお、乾式貯蔵建屋及び乾式貯蔵建屋天井クレーンは、基準地震動 S_s による地震力に対して、乾式キャスクへの波及的影響を防止するように、特段の機能を有する設備^{※2}として設計する。

なお、周辺施設へのユーティリティ設備は、周辺施設へ電気・圧縮空気等を供給する設備であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。また、点検用架台は、乾式キャスクの点検等に用いる足場であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。よって、周辺施設へのユーティリティ設備及び点検用架台は、周辺施設に該当しない。

※2 特段の機能を有する設備：乾式キャスクの安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設以上の耐震性を有する設備

また、乾式キャスク及び乾式貯蔵建屋は、1、2、3、4号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とするとともに、安全施設（第12条第1、3、4、5、7項）に適合する設計とする。

さらに、乾式貯蔵建屋は、発電用原子炉施設であるため、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（第7条）を講じ、安全避難通路等（第11条第1項）を設ける設計とする。

第 9-1 表 乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能

設 備	名 称	分 類	特段の機能 (周辺施設)		耐震重要 度分類	地震による 損傷防止		津波に よる損 傷防止	外部からの衝撃による 損傷防止		火災に よる損 傷防止	溢水に よる損 傷防止	兼用キャスクの 安全機能維持及 び監視		遮蔽機能を補完		設計 基準 対象 施設	安全施設		備 考	
			有無	機能		第 4 条		第 5 条 第 2 項	第 6 条		第 8 条 第 1 項	第 9 条 第 1 項	第 16 条※8		第 29 条 第 1 項	第 30 条 第 1 項～ 第 3 項		PS-2	PS-3		
						第 1 項 第 2 項	第 6 項 第 7 項		第 1 項 第 3 項	第 4 項 第 6 項			第 2 項	第 4 項							
兼用キャスク	使用済燃料乾式貯蔵 容器 (乾式キャスク)	兼用 キャスク	—	—	S※1	○	○	○	—	○※9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	PS-2	乾式キャスクは、1、2、 3、4号炉の使用済燃料を 貯蔵した場合でも乾式 キャスクの安全機能を 損なわない設計とする。
兼用キャスク支持部 ・ 架台 ・ 基礎ボルト	・ 貯蔵架台注記 ・ 基礎ボルト	周辺施設	○	—	S※1	○※6	○※6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
基礎 (兼用キャスクの間 接支持構造物)	基礎	周辺施設	○	—	—※2	○※6	○※6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
貯蔵建屋等 ・ 貯蔵建屋 (遮蔽壁含 む)	使用済燃料乾式貯蔵 建屋 (遮蔽壁及び火災区 域・区画構造物含 む)	周辺施設	○	—	C※3, ※10	○	○	○	○	—	○	—	○※7	○	○	○	○	○	○	PS-3	・第7条及び第11条第1 項についても適合さ せる設計とする。 ・貯蔵建屋は、1、2、3、 4号炉の使用済燃料を 貯蔵した場合でも乾 式キャスクの除熱機 能を阻害しない設計 とする。
計装設備 ・ 兼用キャスク圧力計 ・ 兼用キャスク表面温度 計 ・ 建屋内雰囲気温度計	・ 乾式貯蔵容器蓋間 圧力計 ・ 乾式貯蔵容器表面 温度計 ・ 乾式貯蔵建屋内雰 囲気温度計	周辺施設	×	—	—※4	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	
クレーン類 ・ 天井クレーン ・ エアパレット	・ 乾式貯蔵建屋天井 クレーン ・ 乾式貯蔵容器搬送 台車	周辺施設 周辺施設	○ ×	—	—※4, ※10 —※4	—	—	—	—	—	—	—	○ ○	—	—	—	—	—	—	—	
周辺施設へのユーティリ ティ設備 ・ 電気供給設備 ・ 空気供給設備 ・ 換気空調設備	・ 乾式貯蔵建屋電源 設備 ・ 搬送台車用コンプ レッサ、空気供給 配管等 ・ 乾式貯蔵建屋給排 気ファン	—※5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
点検用架台 ・ 点検用歩廊 ・ 検査架台	・ 点検用歩廊 ・ 検査架台	—※5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

16 条-別紙-139

※1: 耐震重要度分類Sクラス施設として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
 ※2: 耐震重要度分類Sクラス施設の間接支持構造物として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キャスクの支持機能を維持できる設計とする。
 ※3: 耐震重要度分類Cクラス施設に分類し、当該クラスに応じた地震力に対しておおむね弾性範囲に留まる設計とする。(但し、遮蔽機能を有する部位に限る。
 当該部位以外については、耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とする。)
 ※4: 耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とする。
 ※5: 乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していないもの。(乾式キャスクに直接関わらないもの)
 ※6: 乾式キャスクに貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎を含めて適合性を確認する。
 ※7: 乾式貯蔵施設は、十分余裕を持たせた使用済燃料貯蔵容量を有する設計とする。
 ※8: 設計上想定される状態における兼用キャスクの安全機能維持、監視機能、材料、構造健全性及び設計貯蔵期間については、2章設計方針に記載する。
 ※9: 乾式貯蔵建屋に内包することにより、乾式キャスクが安全機能を損なわない設計とする。
 ※10: 基準地震動Ssによる地震力に対して耐震性を有する設計とすることで、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。
 注記: 乾式キャスクと貯蔵架台を固定する固定装置を含む。

〔 上表以外の設備として、屋内消火栓等については、プラントと同様の設計とする。火災感知器は、消防法に基づき設計する。 〕

9.2 兼用キャスク及び周辺施設の設計方針

兼用キャスク及び周辺施設について、乾式キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能を確保できるよう、第9-1表に示す設置許可基準規則の条項の要求を満足するように設計する。具体的な設計方針を以下に示す。

9.2.1 兼用キャスクの設計方針

兼用キャスクの設計方針を次の項目ごとに示す。

9.2.1.1 地震

兼用キャスクである乾式キャスクは、第4条第6項に規定する地震力^{*}に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスク（支持部及び基礎を含む）は、耐震重要度分類をSクラスとして分類し、基準地震動 S_s による地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準地震動による地震力

9.2.1.2 津波

兼用キャスクである乾式キャスクは、津波による作用力^{*}に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを津波防護対象設備として分類し、乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋を浸水防護重点化範囲に設定する。詳細については、第5条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準津波による作用力（荷重）

9.2.1.3 竜巻

兼用キャスクである乾式キャスクは、竜巻による作用力^{*}に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを竜巻防護施設として分類し、乾式貯蔵

建屋にて防護する設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

※ 設計竜巻による作用力（荷重）

9.2.1.4 外部火災

兼用キャスクである乾式キャスクは、第 6 条第 4 項及び第 6 項において想定される森林火災及び想定される爆発、近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを「クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設」等に分類し、乾式貯蔵建屋にて防護する設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

9.2.1.5 内部火災

兼用キャスクである乾式キャスクは、火災により乾式キャスクの安全機能が損なわれないよう、火災発生防止の措置を講じる設計とする。

具体的には、乾式キャスクは不燃性材料を使用した設計とする。詳細については、第 8 条に係る安全審査資料に示す。

9.2.1.6 溢水

兼用キャスクである乾式キャスクは、乾式貯蔵施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。具体的には、乾式キャスクを防護対象設備とし、溢水事象を想定しても安全機能を損なわない単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）で、外部からの動力の供給を必要としない設計とする。詳細については、第 9 条に係る安全審査資料に示す。

9.2.2 周辺施設の設計

周辺施設の設計方針を次の設備ごとに示す。

9.2.2.1 機器・配管系（兼用キャスクの支持部、計装設備及びクレーン類）

機器・配管系のうち計装設備（乾式キャスク蓋間圧力計、乾式キャスク表面温度計及び乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計）及びクレーン類（乾式貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車）は、一般産業施設や公衆施設と同等の静的地震力に対して、必要な機能が維持される設計とする。

具体的には、耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とするとともに、第9.2-1表に示す一般産業規格等に基づいた一般産業品を用いる設計とする。

なお、乾式貯蔵建屋天井クレーンは、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

第9.2-1表．計装設備及びクレーン類に適用する一般産業規格等※

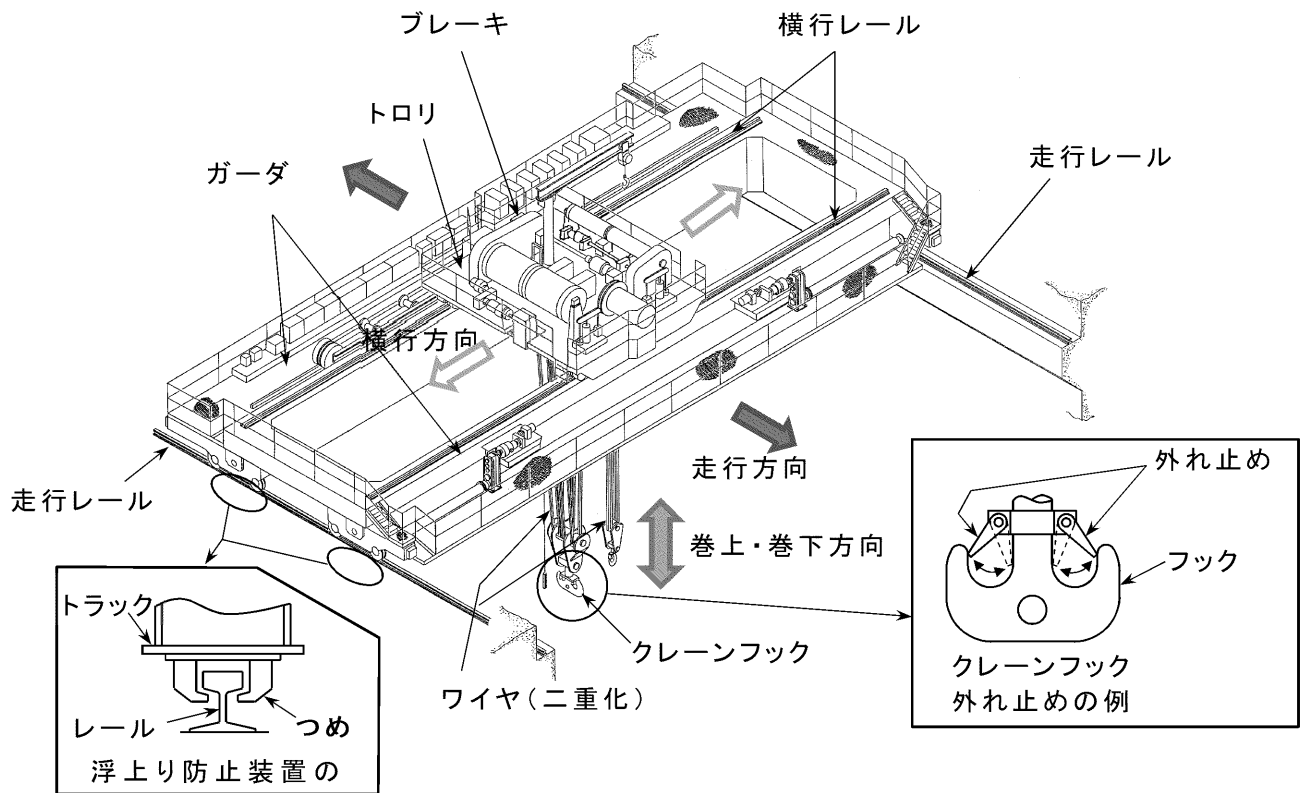
設備名	一般産業規格等
乾式キャスク蓋間圧力計	JIS B7505（アネロイド型圧力計 ブルドン管圧力計）、圧力センサ 等
乾式キャスク表面温度計	JIS C1602（熱電対） JIS C1605（シース熱電対） 等
乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計	
乾式貯蔵建屋天井クレーン	クレーン等安全規則、クレーン構造規格 等
乾式キャスク搬送台車	JIS G3101（一般構造用圧延鋼材） エアベアリング（カタログ品） 等

※ JIS 規格等の国内規格類に基づいた部材、部品およびカタログ品により構成される一般産業品を用いる。

機器・配管系のうち乾式キャスク支持部(貯蔵架台及び基礎ボルト)については、乾式キャスクを含めて耐震重要度分類をSクラスとして分類し、基準地震動 S_s による地震力に対して、乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

クレーン類のうち、乾式貯蔵建屋天井クレーンは、乾式貯蔵建屋の取扱エリアの壁に設置された走行レール上をガーダが東西方向に移動(走行)し、ガーダ上の横行レール上を南北方向にトロリが移動(横行)する。横行レール上の移動及びクレーンワイヤの巻上・巻下は、ガーダ上にあるトロリにより行う。乾式貯蔵建屋天井クレーンの構造イメージを第9.2-1図に、概略仕様を第9.2-2表に示す。ここで、乾式貯蔵建屋天井クレーンは、一般産業施設を用い、クレーン等安全規則、クレーン構造規格等に基づき、以下に示す吊荷の落下防止措置等およびクレーンの落下防止対策を講じることから、乾式キャスクの移動を安全かつ確実にできる設計となっている。

- ・ 電源遮断時に自動的にブレーキが作動することでワイヤが巻き下げられることを防止し吊荷を保持する。
- ・ ワイヤがフックから外れることを防止するための外れ止めを設ける。
- ・ 巻過ぎによるワイヤの破断を防止する巻過防止装置を設ける。
- ・ 吊荷の安定化のためワイヤを二重化する。
- ・ 乾式貯蔵建屋天井クレーンの走行及び横行レールには、浮き上がり防止機能を設ける設計としており、走行及び横行レールからガーダ及びトロリが浮き上がらない。



第 9.2-1 図．乾式貯蔵建屋天井クレーンの構造イメージ図

第 9.2-2 表 乾式貯蔵建屋天井クレーンの概略仕様

項目	仕様
容量 (ton)	主巻 : 160
巻上/巻下速度 (m/分)	低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2
移動速度 (m/分)	走行 0.9 / 6.0 / 18
	横行 0.6 / 1.5 / 6.0

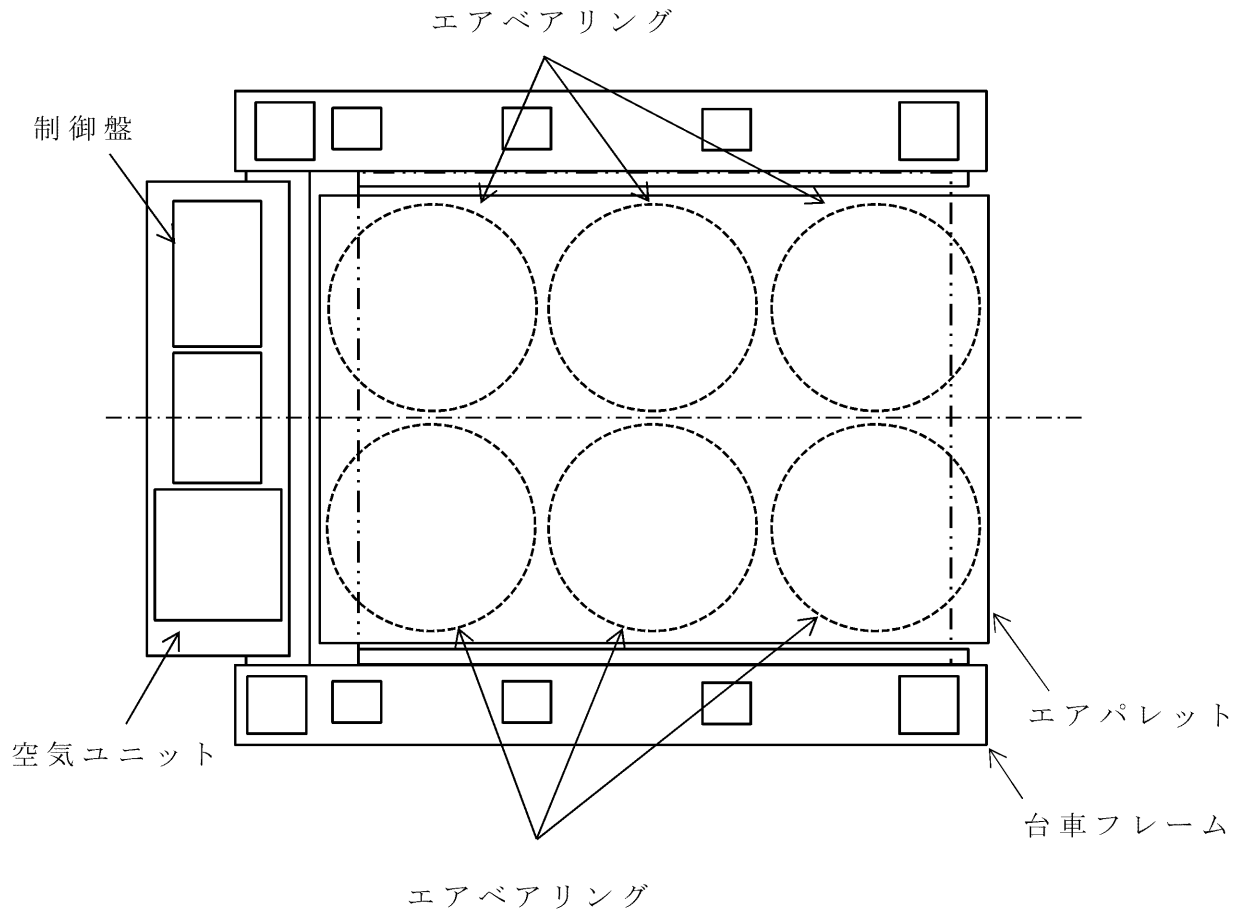
クレーン類のうち、乾式キャスク搬送台車は、乾式キャスクを設置した貯蔵架台をエアパレットで浮上させることにより、床面との摩擦力を低減して乾式キャスクを搬送するものである。エアパレットは、エアベアリングに空気を供給し、エアベアリングの小穴から漏れ出す空気によって、床面とエアベアリングの間に薄いエアフィルムを形成させることにより、床面との摩擦係数を低減させるものである。乾式キャスク搬送台車の概要図を第 9.2-2 図に示す。

また、乾式キャスク搬送台車は、モータによる駆動装置、制御盤、油圧ジャッキ及びエアパレット等によって構成されており、建屋内の空気供給配管からエアホースを通じて搬送台車に空気を供給する構造とする。乾式キャスク搬送台車の概略仕様を第 9.2-3 表に示す。

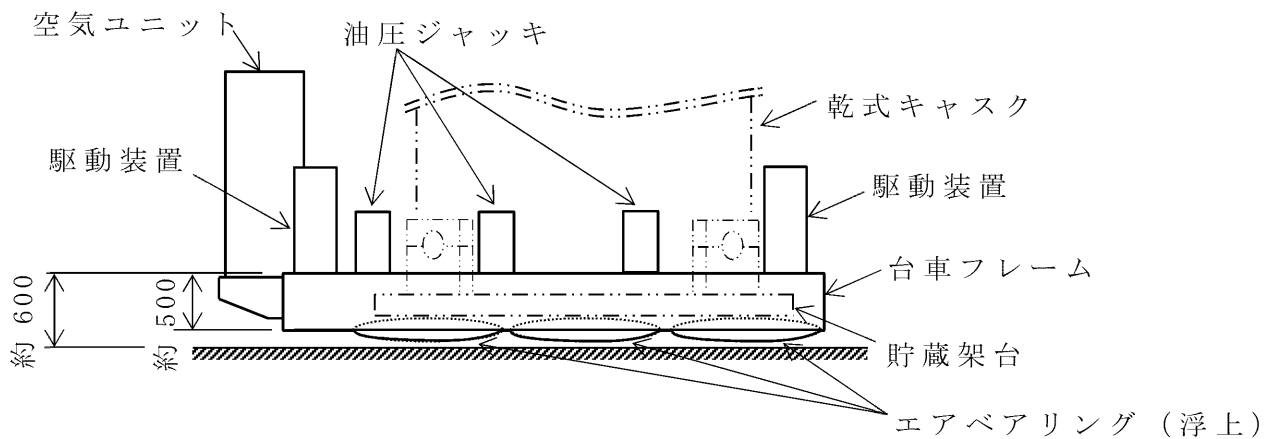
乾式キャスク搬送台車は、第 9.2-3 表に示す走行速度以上の速度は出ない構造であり、第 16 条安全審査資料参考 4 に示すように、搬送中に搬送台車が仮に逸走し、建屋壁及び他の乾式キャスク貯蔵架台等へ衝突した場合でも、乾式キャスクは壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しない設計となっているため、乾式キャスクの移動を安全かつ確実にできる設計となっている。

なお、乾式キャスク搬送台車は、一般産業品として、以下に示す機能を有している。

- ・ 搬送台車による乾式キャスクの移送を安全かつ確実にを行うために、操作員による誤操作等を想定し、補助員によっても緊急停止できる機構を設けるとともに、他の乾式キャスク、構築物等への衝突を防止する対策を講じる。
- ・ 空気の遮断時には、エアベアリングへの圧縮空気の供給が停止されて乾式キャスク搬送台車が床に着座し、駆動装置の能力を超える摩擦力が発生するため、乾式キャスク搬送台車は停止する。



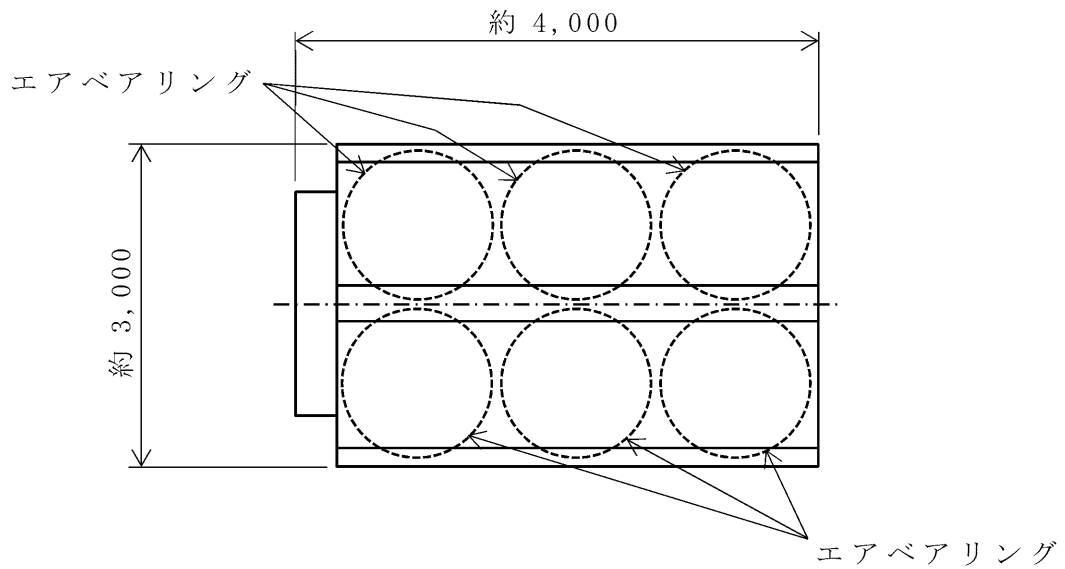
＜乾式キャスク搬送台車 平面図＞



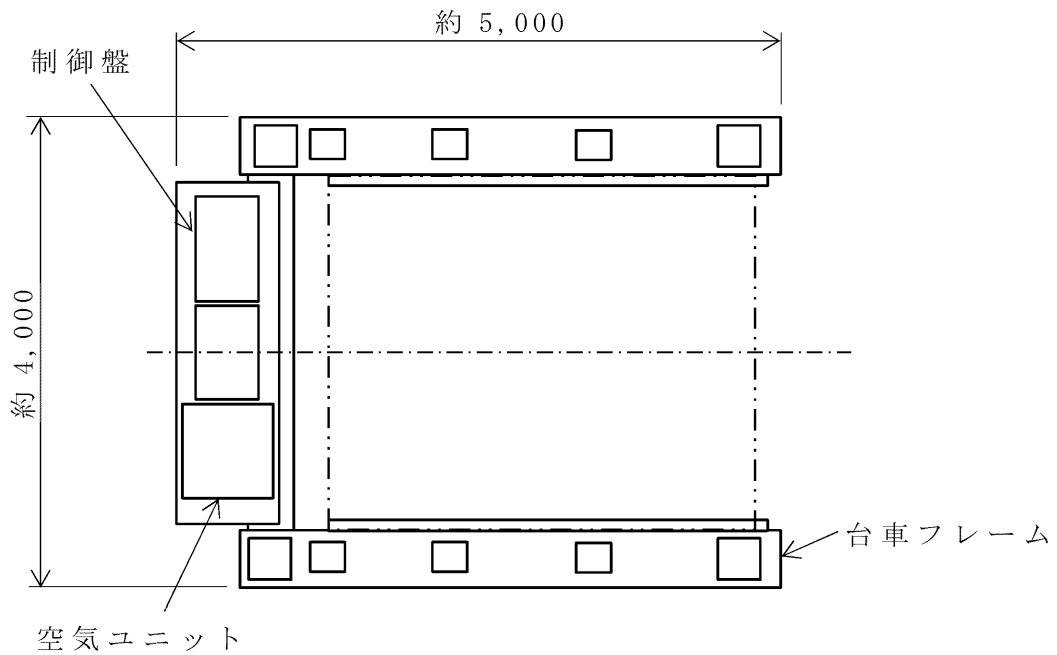
＜乾式キャスク搬送台車 側面図＞

(単位：mm)

第 9.2-2 図. 乾式キャスク搬送台車 概要図 (1 / 2)



<エアパレット平面図>



<台車フレーム平面図>

(単位：mm)

第9.2-2図. 乾式キャスク搬送台車 概要図 (2 / 2)

第 9.2-3 表. 乾式キャスク搬送台車の概略仕様

項 目	仕 様
定格荷重 (kN) [(ton)]	1,470 [150]
走行速度 (m/分)	0.6/2

9.2.2.2 乾式貯蔵建屋等（貯蔵建屋）

乾式貯蔵建屋の設計方針を次の項目ごとに示す。

(1) 地震

乾式貯蔵建屋は、耐震重要度分類 C クラス施設として分類し、地震力に十分耐えることができる設計とする。また、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。

詳細については、第 4 条に係る安全審査資料に示す。

(2) 津波

津波防護対象設備である乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋の設置された敷地において、基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させない設計とし、浸水防護重点化範囲である乾式貯蔵建屋は、津波による影響を受けない位置に設置する設計とする。詳細については、第 5 条に係る安全審査資料に示す。

(3) 竜巻

竜巻防護施設である乾式キャスクを内包する乾式貯蔵建屋は、構造健全性を維持することにより、乾式キャスクが安全機能を損なわない設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

(4) 外部火災

外部火災防護施設である乾式キャスクを内包する乾式貯蔵建屋

は、建屋のコンクリート壁の耐性評価を実施し、乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

(5) その他の外部事象

周辺施設である乾式貯蔵建屋は、安全重要度分類 PS-3 として分類し、その他の外部事象により安全機能を損なわない設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

(6) 内部火災

乾式貯蔵建屋は、放射性物質の貯蔵機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域として設定する設計とする。詳細については、第 8 条に係る安全審査資料に示す。

(7) 遮蔽機能

<工場等周辺における直接線等からの防護>

乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクの遮蔽機能と相まって、既設を含めた原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を合理的に達成できる限り小さい値となるように設計する。具体的には、年間 50 マイクロシーベルトを超えない設計とする。詳細については、第 29 条に係る安全審査資料に示す。

<放射線からの放射線業務従事者の防護>

乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクの遮蔽機能と相まって、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮蔽、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。詳細については、第 30 条に係る安全審査資料に示す。

使用済燃料乾式貯蔵容器の
4つの安全機能について
(除熱機能)

<目 次>

1. 要求事項
2. 適合性について
3. 使用する解析コード
4. 参考文献

1. 要求事項

乾式キャスクの除熱機能に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

①設置許可基準規則第16条第4項二号

- ・使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

②設置許可基準規則解釈別記4第16条3項

第16条第4項第2号に規定する「崩壊熱を適切に除去することができる」とは、第5項に規定するもののほか、貯蔵事業許可基準規則解釈第6条並びに第17条第1項第2号（貯蔵建屋を設置する場合に限る。）及び第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。

・貯蔵事業許可基準規則解釈第6条

第6条に規定する「崩壊熱を適切に除去できるもの」とは、以下の設計をいう。

- 一 使用済燃料の温度を、被覆管のクリープ破損及び被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持できる設計であること。
- 二 金属キャスクの温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計であること。
- 三 貯蔵建屋（使用済燃料貯蔵施設において金属キャスク等を収納する建物をいう。以下同じ。）は、金属キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しない設計であること。
- 四 使用済燃料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必要な措

置が講じられること。

③設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「2.安全機能の確保 2.3 除熱機能」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

- (1) 設計上想定される状態において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができること。

』

【確認内容】

『

以下を踏まえ除熱設計が妥当であること。

1) 使用済燃料の崩壊熱評価

使用済燃料の崩壊熱は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。また、燃料型式、燃

料体の実形状、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件として計算した核種の生成及び崩壊から発熱量として求めること。

2) 兼用キャスク各部の温度評価

a. 兼用キャスクの各部の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスク周囲の温度を条件とし、及び兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること。

b. 安全機能及び兼用キャスクの構造強度を維持する観点から、a. で求めた温度は、設計上想定される状態において、兼用キャスクの構成部材が健全性を保つ範囲に収まること。ここで、「健全性を保つ範囲」とは、兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲をいう。

3) 燃料被覆管の温度評価

a. 燃料被覆管の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、1) で求めた使用済燃料の崩壊熱と 2) で求めた兼用キャスクの各部の温度を条件とし、使用済燃料集合体、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること。

b. 燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から、a. で求めた温度は、設計上想定される状態において、制限される範囲に収まること。ここで、「制限される範囲」とは、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲をいう。

4) 貯蔵建屋の除熱評価

① 貯蔵建屋を設置する場合は、兼用キャスクの除熱機能を阻害しないこと。

また、貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しないこと。

- ② 貯蔵建屋を設置する場合であって、放水による冷却等
応急復旧による除熱機能の回復を期待するときには、そ
の実施に係る体制を適切に整備すること。

』

2. 適合性について

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、兼用キャスクの有する4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）に係る設計の基本方針の妥当性を確認することが定められており、乾式キャスクの除熱機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

〔確認内容〕

1) 使用済燃料の崩壊熱評価

使用済燃料の崩壊熱は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。また、燃料型式、燃料体の実形状、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件として計算した核種の生成及び崩壊から発熱量として求めること。

2) 兼用キャスク各部の温度評価

- a. 兼用キャスクの各部の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスク周囲の温度を条件とし、及び兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること。
- b. 安全機能及び兼用キャスクの構造強度を維持する観点から、a. で求めた温度は、設計上想定される状態において、兼用キャスクの構成部材が健全性を保つ範囲に収まること。ここで、「健全性を保つ範囲」とは、兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲をいう。

3) 燃料被覆管の温度評価

- a. 燃料被覆管の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、1) で求めた使用済燃料の崩壊熱と 2) で求めた兼用キャスクの各部の温度を条件とし、使用済燃料集合体、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること。
- b. 燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観

点から、a. で求めた温度は、設計上想定される状態において、制限される範囲に収まること。ここで、「制限される範囲」とは、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲をいう。

4) 貯蔵建屋の除熱評価

- ① 貯蔵建屋を設置する場合は、兼用キャスクの除熱機能を阻害しないこと。

貯蔵時の使用済燃料及び乾式キャスクの基本的安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、乾式キャスクは使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。

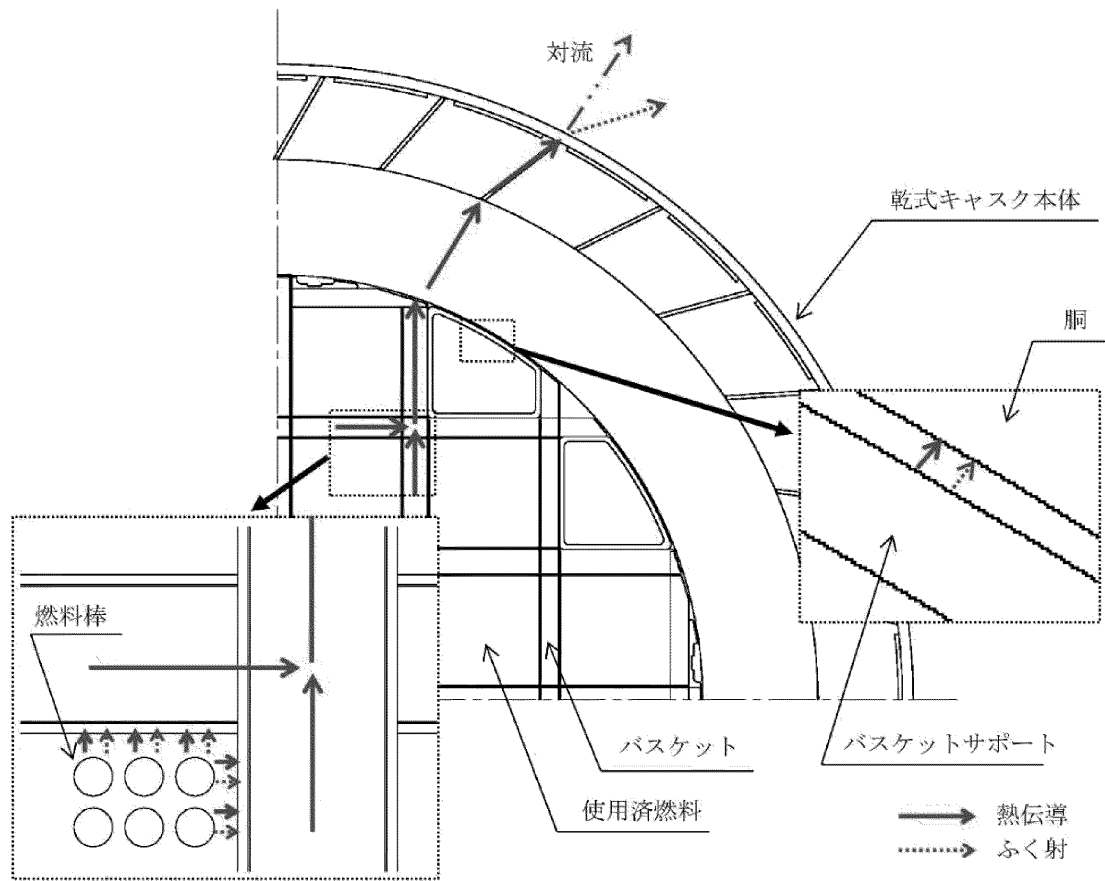
乾式キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を熱伝導及びふく射により乾式キャスクの外表面に伝え、対流及びふく射により周囲の空気等に伝達する。乾式キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低いレジンを用いるため、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

乾式貯蔵施設における使用済燃料の崩壊熱の主要な伝熱形態は次のとおりである。

(第 2-1 図参照)

- a) 崩壊熱は、使用済燃料の被覆管表面からヘリウムガスを介した熱伝導及びふく射によりバスケットへ伝えられる。
- b) バスケットに伝えられた熱は、バスケット内の熱伝導によりバスケット外周部へ伝えられる。
- c) バスケット外周部に伝えられた熱は、バスケット外表面からヘリウムガスを介した熱伝導及びふく射により乾式キャスク本体内面へ伝えられる。
- d) 乾式キャスク本体内面に伝えられた熱は、熱伝導により乾式キャスク本体外面へ伝えられる。
- e) 乾式キャスク本体外面へ伝えられた熱は、乾式キャスク本体外面の対流により乾式キャスク周囲の空気へ伝えられる。また、乾式キャスク本体外面のふく射により建屋に伝えられる。

使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という）は、乾式キャスクを配置するとともに、給気口と排気口を有する構造とし、自然対流冷却により、乾式キャスクの除熱機能を阻害しない設計とする。



第 2-1 図 乾式キャスクの伝熱形態 (MSF-24P 型の例)

乾式キャスク及び乾式貯蔵建屋の除熱解析フローを第 2-2 図に示す。

解析条件は第 2-1 表、第 2-2 表及び第 2-3 表のとおり。

a. 使用済燃料の崩壊熱評価方法

使用済燃料の型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して核種の生成、崩壊及びそれに基づく崩壊熱を計算する。

b. 乾式キャスク構成部材及び燃料被覆管の温度評価方法

乾式キャスク構成部材の各部温度は、使用済燃料の崩壊熱、周囲の乾式キャスクからのふく射熱及び乾式キャスク周囲温度等を条件として、乾式キャスクの実形状を三次元でモデル化し、伝熱解析コード ABAQUS を使用して求める。(第 2-3 図～第 2-5 図及び第 2-10 図～第 2-12 図参照)

使用済燃料被覆管の温度は、使用済燃料の崩壊熱とバスケットの温度を条件として、燃料集合体の径方向断面の二次元モデルを用い、伝熱解析コード ABAQUS を使用して求める。(第 2-6 図～第 2-9 図参照)

なお、本評価においては、以下の点について保守性を有している。

・ 収納制限に対する解析条件の保守性

－ウラン濃縮度 $4.1 \pm \square \square$ wt% 及び $4.8 \pm \square \square$ wt% を保守的に $\square \square$ wt% 及び $\square \square$ wt% とする。

－使用済燃料の最高温度を保守的に高めに算出するために、MSF-21P 型の 17×17 燃料収納時では、第 2-13 図のとおり中央 9 体に燃焼度が 48GWd/t の使用済燃料を配置し、外周部 12 体は、乾式キャスク全体の崩壊熱が平均燃焼度 44GWd/t に相当するよう中央部の崩壊熱量を差し引いて外周部の 12 体で平均化した崩壊熱量を設定する。MSF-21P 型の 14×14

$\square \square$: 商業機密に係る事項のため公開できません


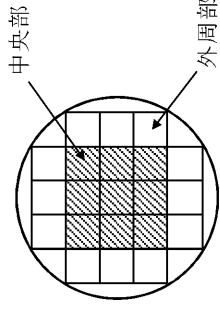
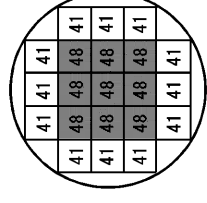
燃料収納時では、第 2-13 図のとおり中央 9 体に燃焼度が 55GWd/t の使用済燃料を配置し、外周部 12 体は、乾式キャスク全体の崩壊熱が平均燃焼度 43GWd/t に相当するよう中央部の崩壊熱量を差し引いて外周部の 12 体で平均化した崩壊熱量を設定する。MSF-24P 型では、第 2-14 図のとおり中央 12 体に燃焼度が 48GWd/t の使用済燃料を配置し、外周部 12 体は、乾式キャスク全体の崩壊熱が平均燃焼度 44GWd/t に相当するよう中央部の崩壊熱量を差し引いて外周部の 12 体で平均化した崩壊熱量を設定する。

- 使用済燃料は、使用済燃料ごとに軸方向の燃焼度分布に基づく発熱量分布を有するが、発熱量計算にあたっては、軸方向燃焼度分布を第 2-15 図及び第 2-16 図のとおりとし、実際の燃焼度分布より保守的に計算しており、その結果、発熱量は、収納制限における最大崩壊熱量（MSF-21P 型 [17×17 型燃料収納時]：13.9kW、MSF-21P 型 [14×14 型燃料収納時]：12.1kW、MSF-24P 型 [17×17 型燃料収納時]：15.8kW）を 14% 程度上回る崩壊熱量となる。

- ・モデル化の保守性

- 乾式キャスク本体内のバスケット及びバスケット内の使用済燃料は、温度を高め評価するよう、空間の中央に配置する。
- 燃料集合体モデルは、軸方向への熱移動を考慮しない二次元モデルとする。
- MSF-21P 型及び MSF-24P 型は、使用済燃料とともにバーナブルポイズン集合体を収納する場合もあるが、無視する方が熱伝導性が低下し保守側の評価となるため、モデル化しない。

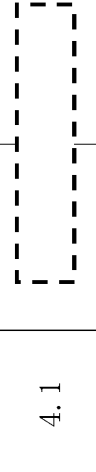


第2-1表 乾式キヤスク解析条件の概要 MSF-21P型 (17×17型燃料収納時)

収納物仕様	燃料タイプ	キヤスク収納制限 配置制限		燃料スペック	解析条件	
		中央部	外周部		中央部	外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	17×17型 (A型)	
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1		
	ウラン重量 (kg)	—		—	—	
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	≤48	48	41
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20		—	15	
バーナブル ホイスン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤46		—	—	
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20		—	—	
	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		—	44	
キヤスク 1基あたり	配置※			—		

※：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

：商業機密に係る事項のため公開できません

第 2-2 表 乾式キャスク解析条件の概要 MSF-21P 型 (14×14 型燃料収納時)

収納物仕様	燃料タイプ	キャスク収納制限 配置制限		燃料スペック	解析条件		
		中央部	外周部		中央部	外周部	
燃料 集合体 1 体の 仕様	燃料タイプ	14×14 型 (A/B 型)		14×14 型 (A/B 型)	14×14 型 (A 型)		
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.9		4.8			
	ウラン重量 (kg)	—		—	—		
	最高燃焼度 (Gwd/t) (燃料集合体平均)	≤55	≤47	≤55	≤48	55	34
	SFP での冷却期間 (年)	≥15		—	—	15	
バーナブル ホースン	最高燃焼度 (Gwd/t)	≤90		—	—		
	SFP での冷却期間 (年)	≥15		—	—		
キャスク 1 基あたり	平均燃焼度 (Gwd/t)	≤43		—	43		
配置※				—			

※：数値は燃焼度 (Gwd/t) を示す。

：商業機密に係る事項のため公開できません

第2-3表 乾式キャスク解析条件の概要 MSF-24P型

収納物仕様	燃料タイプ	キャスク収納制限 配置制限		燃料スペック	解析条件	
		中央部	外周部		中央部	外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	17×17型 (A型)	
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1	[]	
	ウラン重量 (kg)	[]		[]		
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	≤48	48	40
SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥17		—	15		
バーナブル ホイスン キャスク 1基あたり	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90	—	—	—	
	SFPでの冷却期間 (年)	≥15	—	—	—	
	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		—	44	
配置※			—			

※：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

[]：商業機密に係る事項のため公開できません

乾式貯蔵建屋の流路を一次元でモデル化し、第 2-4 表のとおり、給気温度、乾式キャスクの発熱量等を評価条件として、乾式貯蔵建屋内の空気と外気との密度差により生じる駆動力 H_{th} と、乾式貯蔵建屋内を空気が流れることによって生じる圧力損失 ΔP がバランスする点を算出し、乾式キャスクの周囲温度を評価する。なお、乾式キャスクの周囲温度は、乾式貯蔵建屋内で最も温度が高くなる排気温度で評価する。(第 2-17 図及び第 2-18 図参照)

第 2-4 表 除熱評価の代表的な評価条件

項目	条件	備考
乾式キャスクの発熱量(q)	18kW/基	
給気温度 (T_{in})	33°C	冷暖房設計用乾球温度・露点温度における TAC2.5%温度*の最高温度(空気調和・衛生工学便覧[第 14 版])
目標排気温度 (T_{out})	50°C以下	乾式キャスクの除熱機能に関する評価条件

※ TAC2.5%温度とは、夏季(6~9月)のうち高温側 2.5%(約 73 時間)は、その温度を超過することを許容する温度である。

a) 駆動力 H_{th} (熱ドラフト力) の計算

駆動力 H_{th} (熱ドラフト力) は、以下の式で表される。

$$H_{th} = (\rho_{in} - \rho_{out}) \times g \times h$$

ここで、

H_{th} : 熱ドラフト (Pa)

ρ_{in} : 外気の密度 (1.112) (kg/m³)

ρ_{out} : 排気の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (9.81) (m/s²)

h : ドラフト高さ (19.7) (m)

b) 圧力損失 ΔP の計算

圧力損失 ΔP は、以下の式で表される。

$$\Delta P = \sum_i \frac{\zeta_i \cdot W_i^2}{2\rho_i \cdot A_i^2}$$

$$W_i = \frac{q \cdot n}{C_p \cdot (T_{out} - T_m)}$$

ここで、

- ΔP : 圧力損失 (Pa)
- ζ_i : 圧力損失係数 (-)
- W_i : 通過風量 (質量流量) (kg/s)
- ρ_i : 通風路の空気密度 (kg/m³)
- A_i : 通風路の断面積 (m²)
- q : キャスク発熱量(18) (kW/基)
- n : 評価領域のキャスク基数 (基)
- C_p : 空気の比熱(1.007) (kJ/kg・°C)
- T_{out} : 排気温度 (°C)
- T_{in} : 給気温度(33) (°C)

貯蔵建屋の一次元除熱評価で得られた結果を第2-5表に示す。貯蔵建屋の排気温度 T_{out} は45°Cとなり、目標排気温度 (50°C) 以下となる。

第 2-5 表 貯蔵建屋除熱評価の結果

排気温度 T_{out} (°C)	熱ドラフト H_{th} (Pa)	圧力損失 ΔP (Pa)
約 45	約 7.9	約 7.9

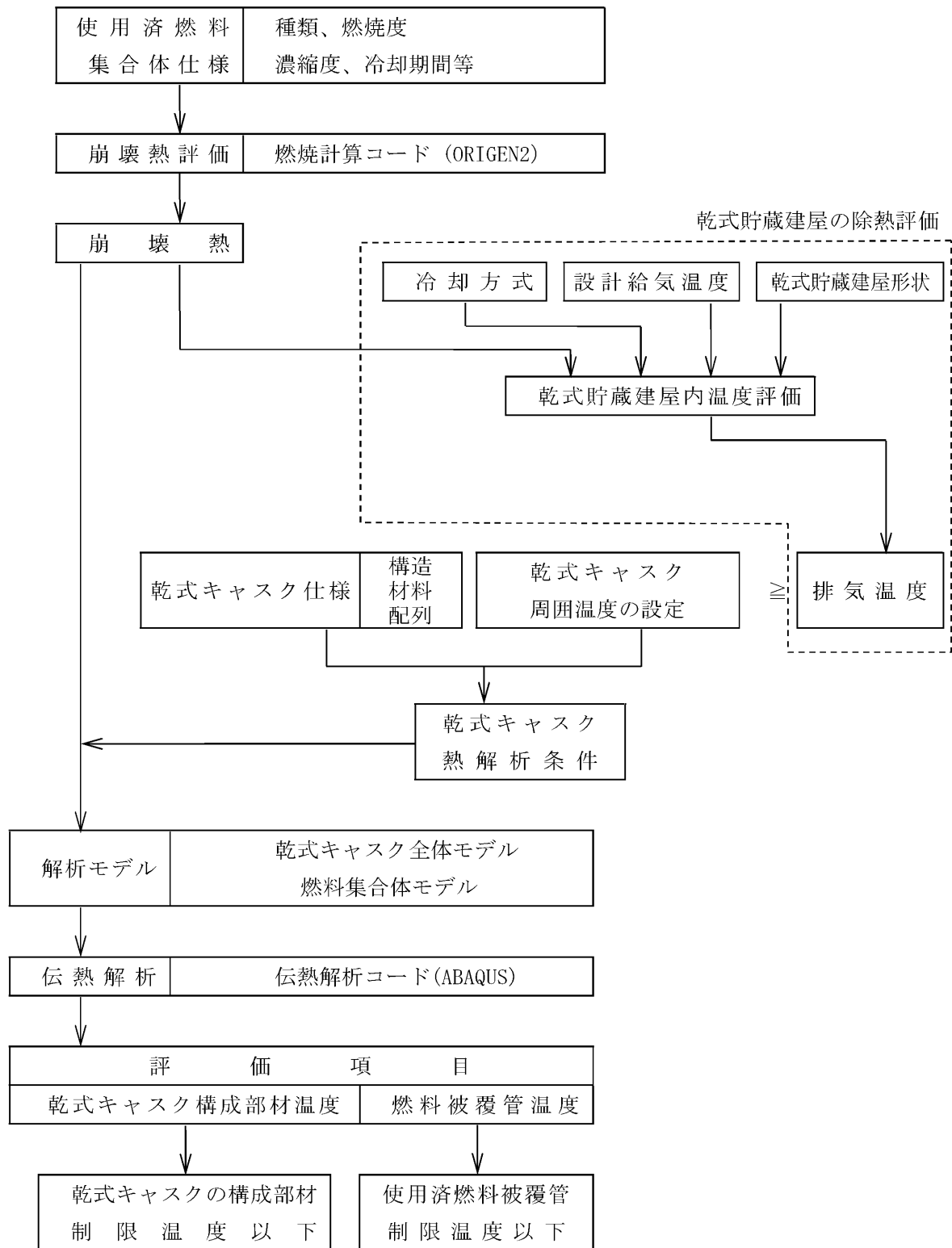
なお、本評価においては、以下の点について保守性を有している。

・ 設定条件の保守性

一 乾式キャスクの発熱量は、MSF-21P 型及び MSF-24P 型の発熱量を包絡する発熱量を使用している。

一 乾式キャスクの発熱量は、すべて空気によって除熱されると考え、建屋コンクリート等を通して大気や地中に逃げる熱は考慮しない。また、通風路各部の圧力損失を計算する際に、圧力損失係数が高くなる様に設定する。

なお、太陽ふく射熱により貯蔵建屋の外壁面温度に変動が生じるが、貯蔵建屋の壁は 1m 以上のコンクリートであり、太陽ふく射熱により貯蔵建屋の壁内面(貯蔵建屋内表面)の温度が上昇することはないため、貯蔵建屋内表面を断熱条件として、排気温度を評価することが保守的な評価となる。

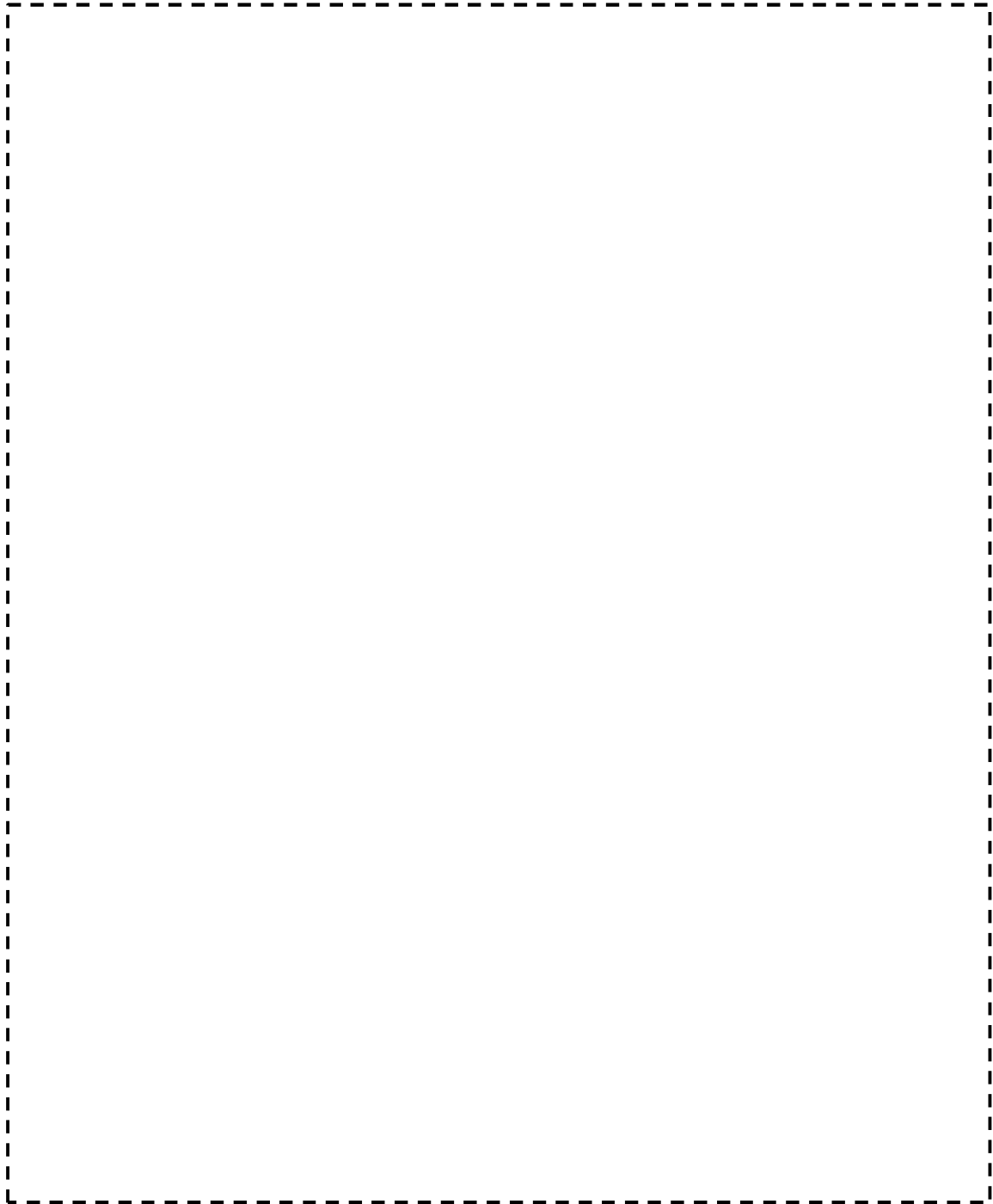


第 2-2 図 乾式キャスクの除熱解析フロー



第 2-3 図 全体モデル形状図（縦断面図）
（MSF-21P 型 17×17 型燃料及び 14×14 型燃料収納時）

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません



第 2-4 図 MSF-21P 型全体モデル形状図（横断面図）
（MSF-21P 型 17×17 型燃料及び 14×14 型燃料収納時）

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません



(モデル全体^(注1)) (バスケット) (バスケットスペーサ^(注2)) (燃料集合体領域^(注1))

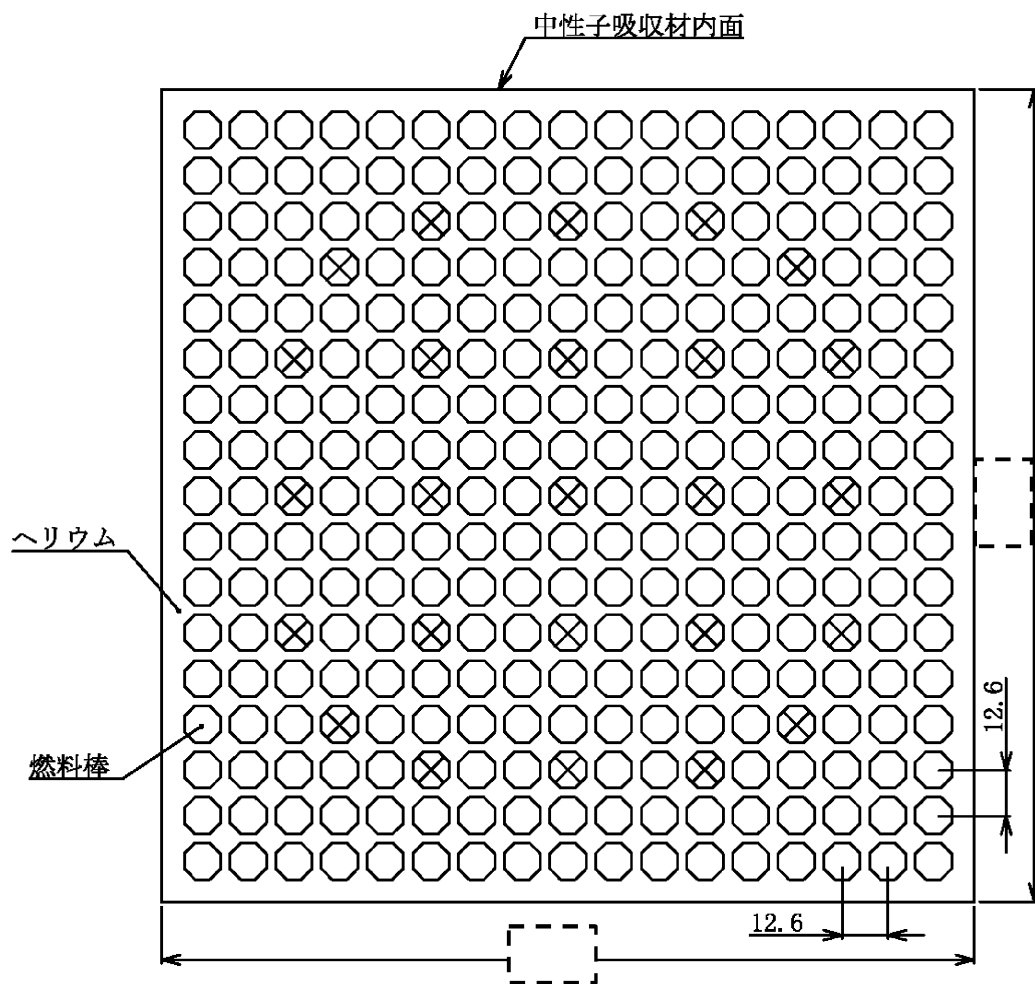
(注 1) 17×17 型燃料収納時の解析モデルを示す。

(注 2) 14×14 型燃料を収納する条件の解析の場合のみモデル化する。

第 2-5 図 全体モデル要素分割図

(MSF-21P 型 17×17 型燃料及び 14×14 型燃料収納時)

□□ : 商業機密に係る事項のため公開できません



(単位 : mm)

(注) ⊗ は制御棒案内シンプル等であり、発熱はない。

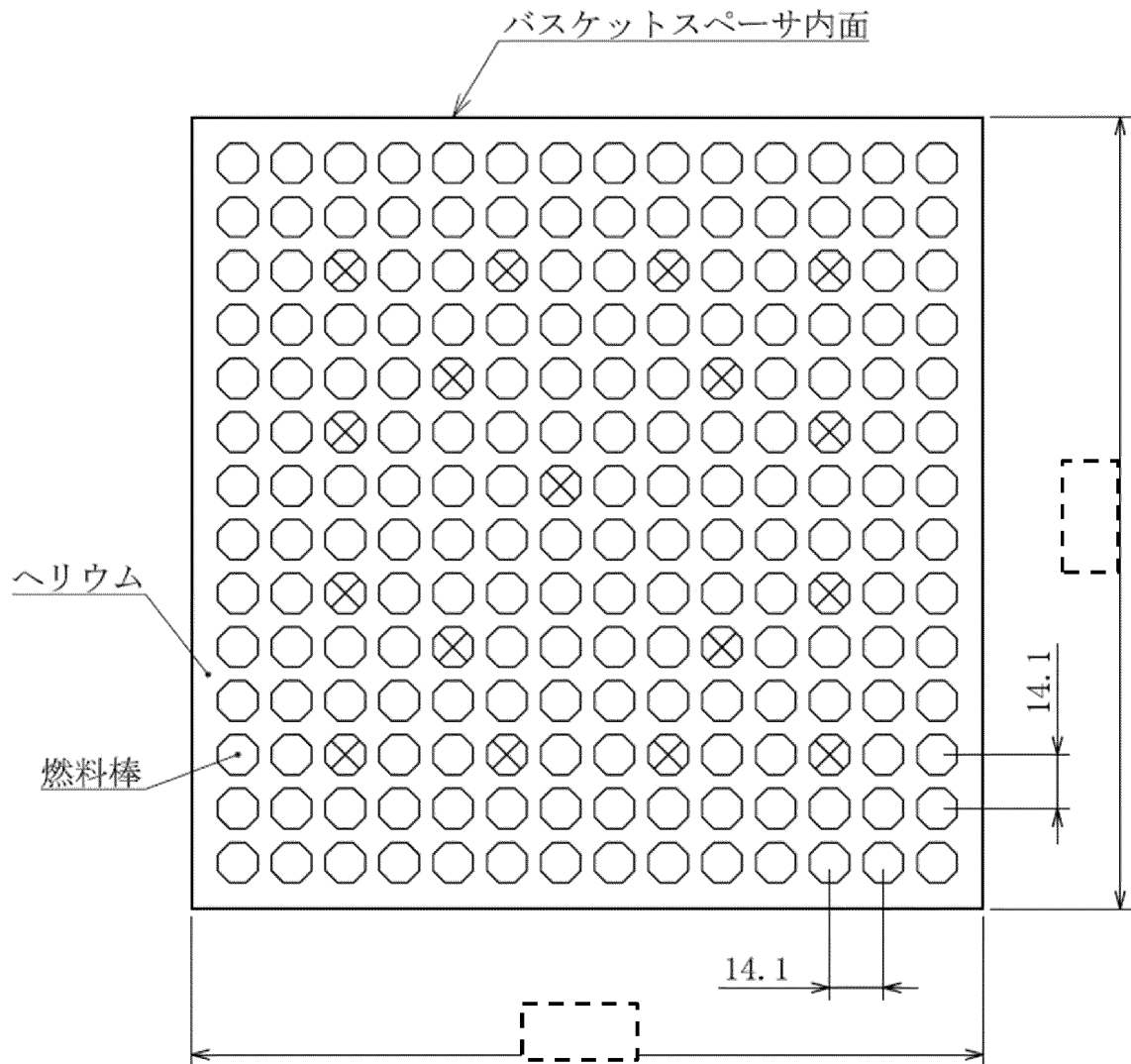
第 2-6 図 燃料集合体モデル形状図
(MSF-21P 型 17×17 型燃料収納時、MSF-24P 型)

☐ : 商業機密に係る事項のため公開できません



第 2-7 図 燃料集合体モデル要素分割図
(MSF-21P 型 17×17 型燃料収納時、MSF-24P 型)

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません



(単位 : mm)

(注) ⊗ は制御棒案内シムプル等であり、発熱はない。

第 2-8 図 燃料集合体モデル形状図
(MSF-21P 型 14×14 型燃料収納時)

〔 〕 : 商業機密に係る事項のため公開できません
16 条-別添 4 (除熱) -22



第 2-9 図 燃料集合体モデル要素分割図
(MSF-21P 型 14×14 型燃料収納時)

〔 〕 : 商業機密に係る事項のため公開できません

16 条-別添 4 (除熱) -23



第 2-10 図 MSF-24P 型全体モデル形状図（縦断面図）

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません

16 条-別添 4（除熱）-24



第 2-11 図 MSF-24P 型全体モデル形状図（横断面図）

【 〇 】：商業機密に係る事項のため公開できません
16 条-別添 4（除熱）-25



(モデル全体)

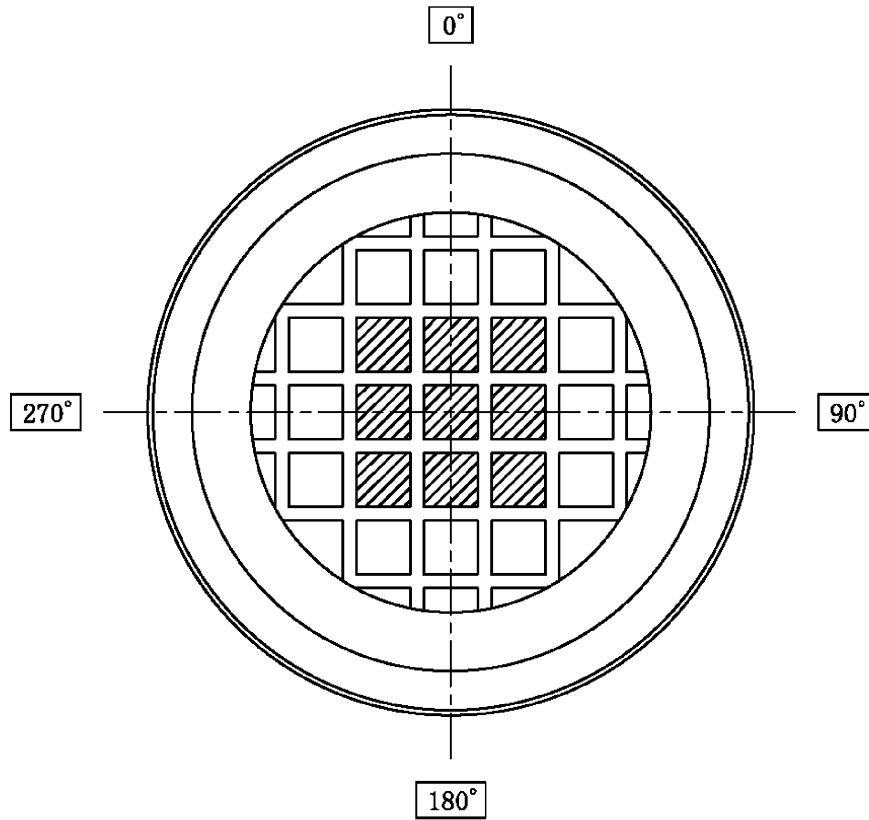
(バスケット)


(燃料集合体領域)


第 2-12 図 MSF-24P 型全体モデル要素分割図

【 〇 】 : 商業機密に係る事項のため公開できません

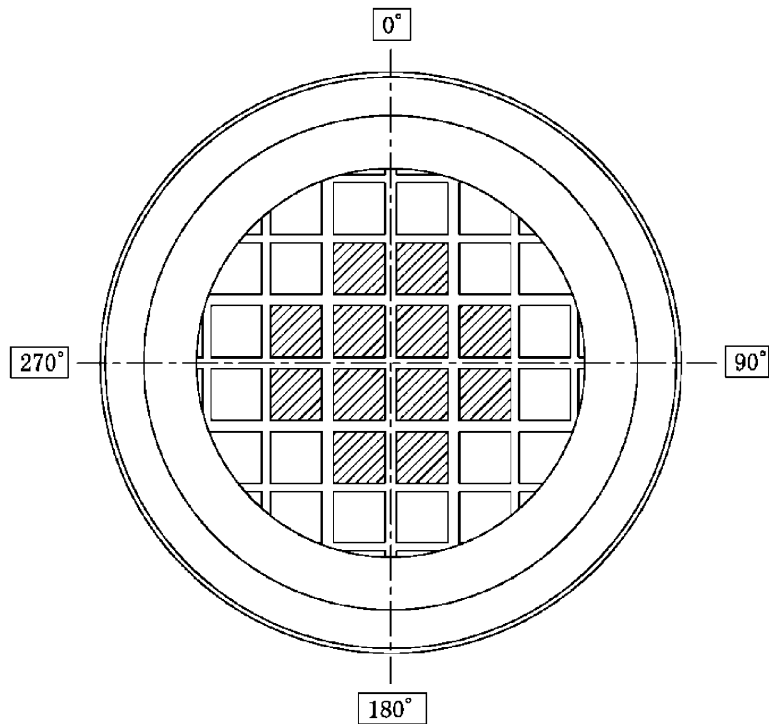
16 条-別添 4 (除熱) -26



 : 最高燃焼度の崩壊熱量(中央部 9 体)

 : 平均燃焼度の崩壊熱量 (21 体分) から中央部の最高燃焼度の崩壊熱量 (9 体分) を差し引き、外周部の収納体数 (12 体) で平均化した崩壊熱量
 (外周部 12 体)

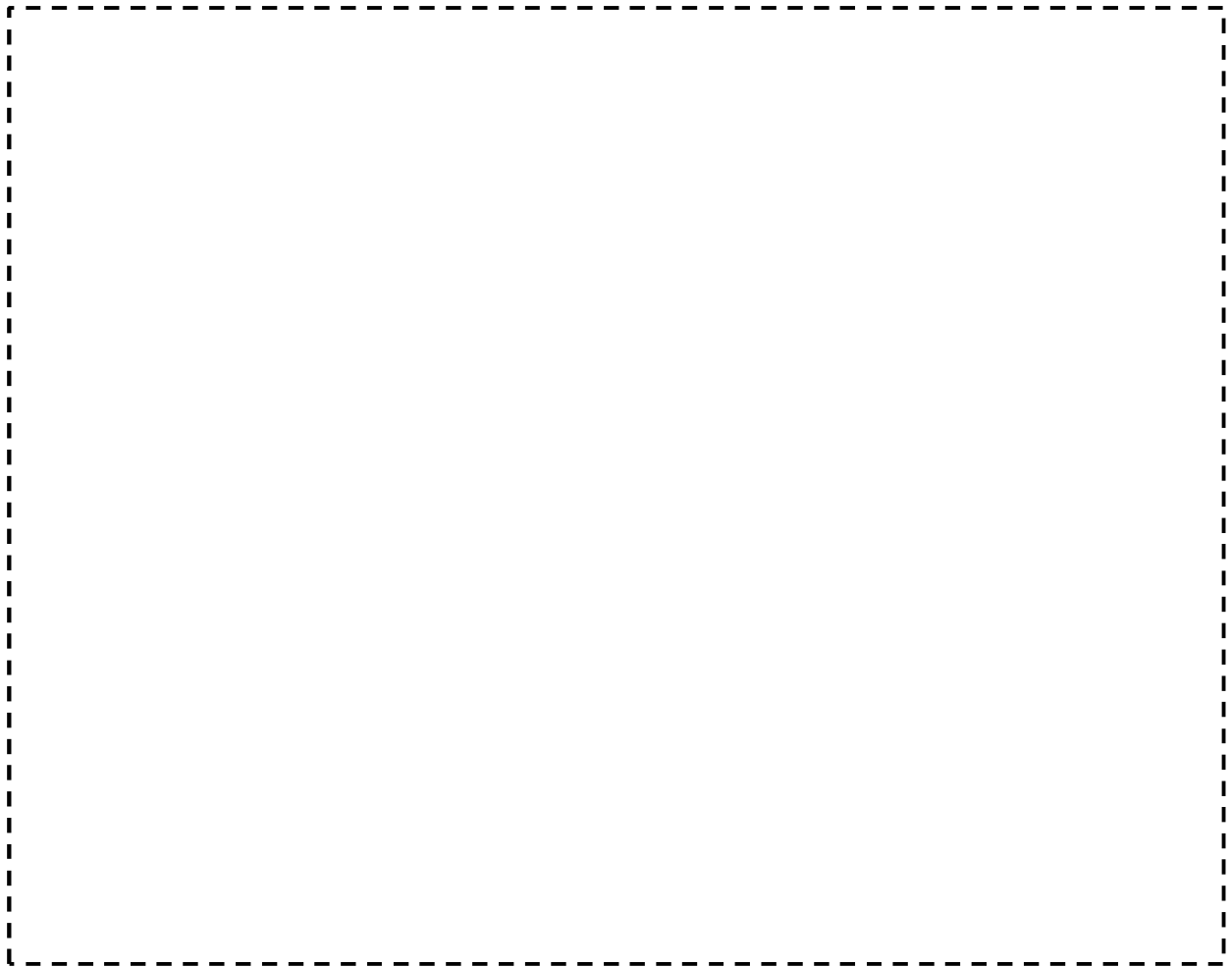
第 2-13 図 除熱解析における使用済燃料集合体の収納条件
 (MSF-21P 型 17×17 型燃料及び 14×14 型燃料収納時)



▨ : 最高燃焼度の崩壊熱量(中央部 12 体)

□ : 平均燃焼度の崩壊熱量 (24 体分) から中央部の最高燃焼度の崩壊熱量 (12 体分) を差し引き、外周部の収納体数 (12 体) で平均化した崩壊熱量
(外周部 12 体)

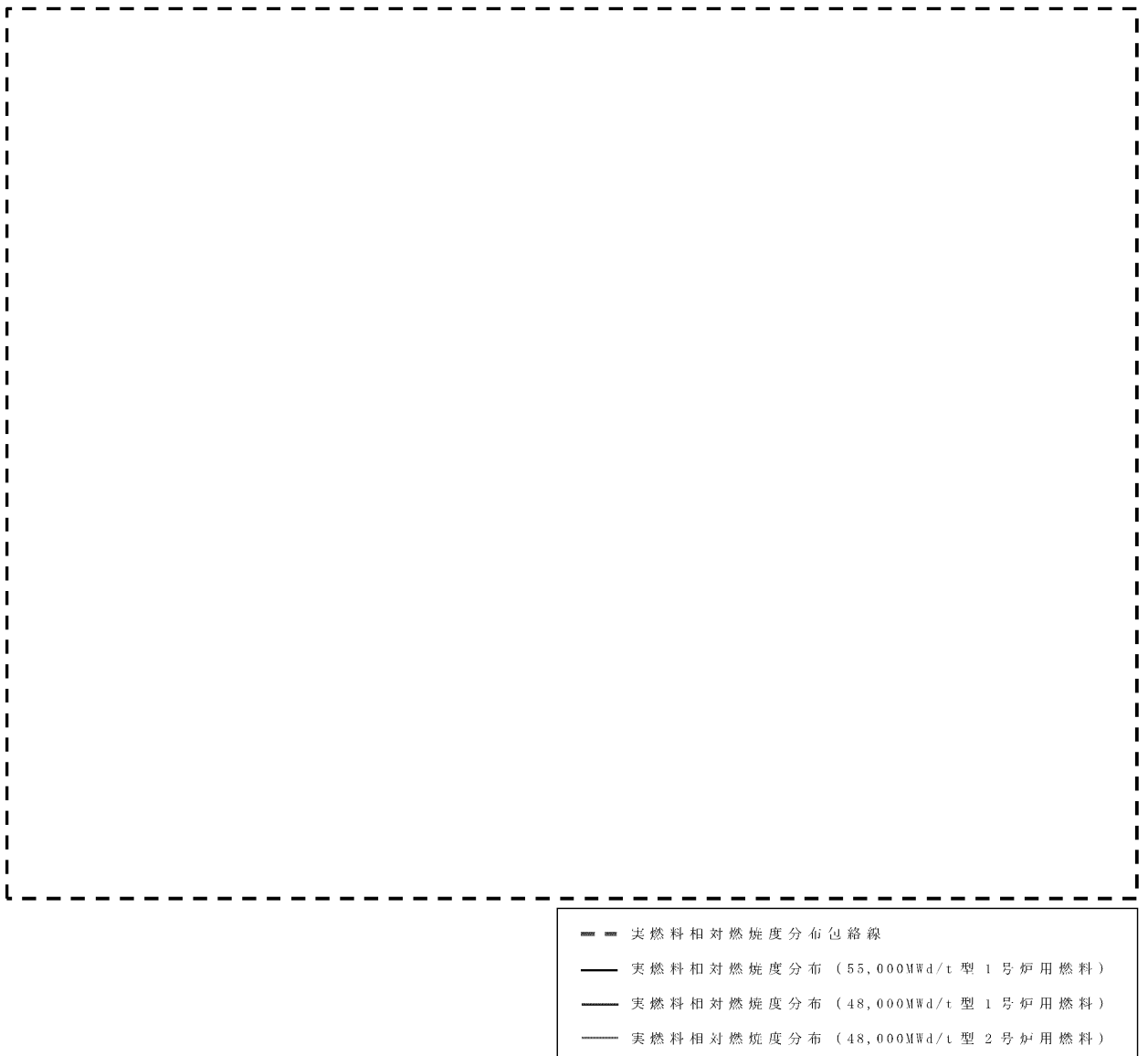
第 2-14 図 除熱解析における使用済燃料集合体の収納条件
(MSF-24P 型)



補足：実線は、燃料集合体平均燃焼度に対する燃焼度の相対値を、軸方向燃焼度分布測定データを用いて算出している。

第 2-15 図 軸方向燃焼度分布の設定
 (MSF-21P 型 17×17 型燃料収納時、MSF-24P 型)

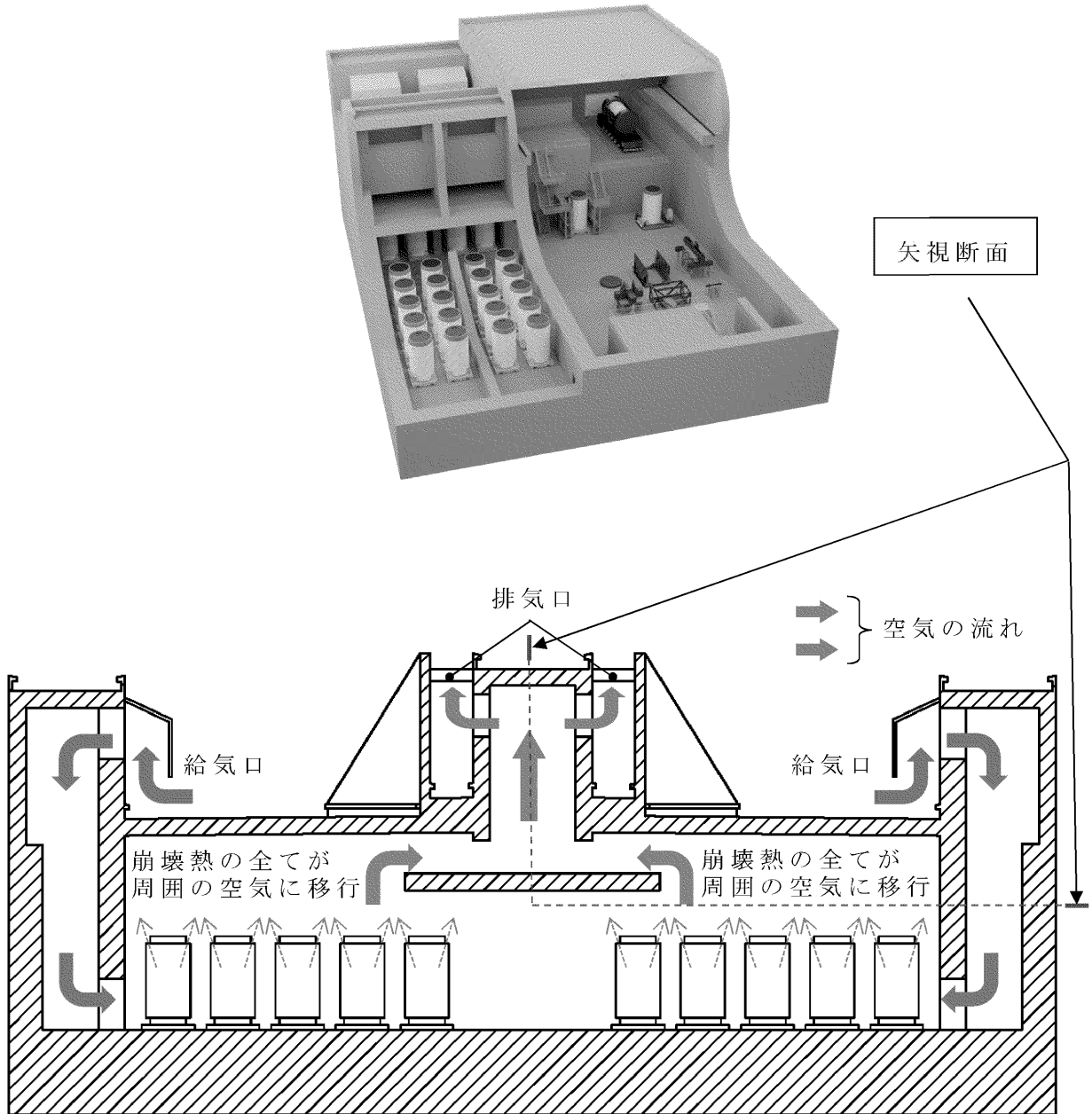
☐☐：商業機密に係る事項のため公開できません



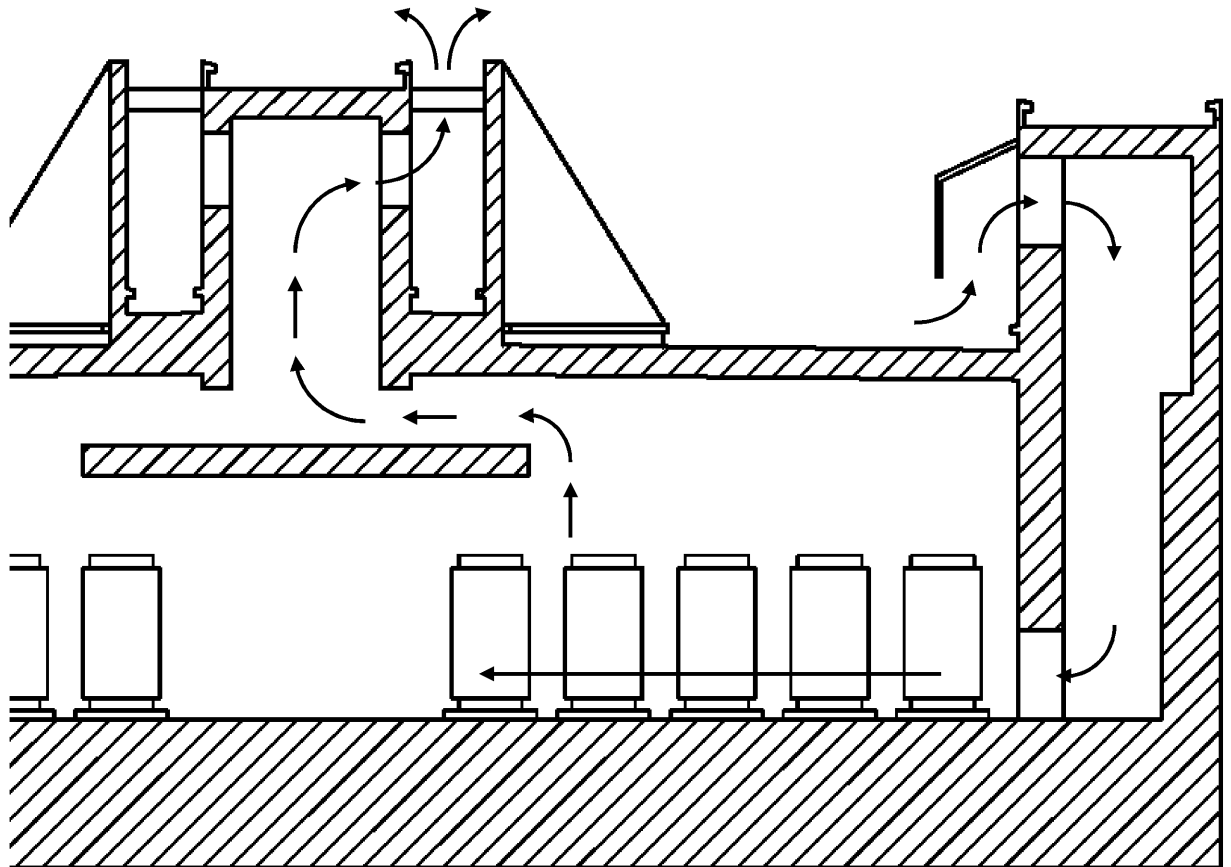
補足：実線は、燃料集合体平均燃焼度に対する燃焼度の相対値を、軸方向燃焼度分布測定データを用いて算出している。

第 2-16 図 軸方向燃焼度分布の設定
(MSF-21P 型 14×14 型燃料収納時)

乾式貯蔵建屋のイメージ



第 2-17 図 乾式貯蔵建屋内の空気の流れイメージ図（評価断面図）



第 2-18 図 乾式貯蔵建屋の除熱評価で想定する流路（モデル範囲）

乾式キャスクの除熱機能の評価基準は、以下のとおりとする。

a. 使用済燃料被覆管

使用済燃料被覆管の温度は、燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から、制限される値以下に維持できること。

b. 乾式キャスク構成部材

基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な部材は、健全性を保つ温度範囲に収まること。

c. 乾式貯蔵建屋

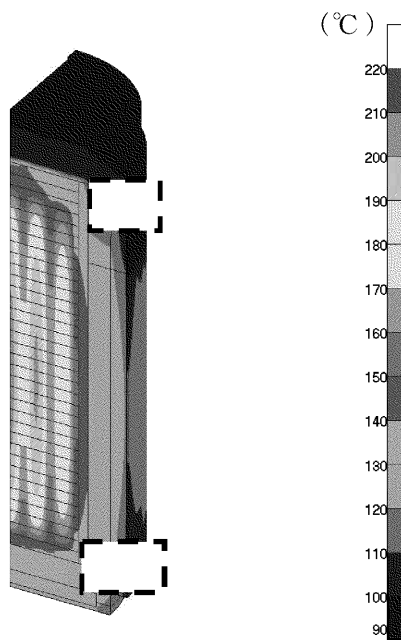
乾式貯蔵建屋の除熱評価で算出した結果（排気温度）が、乾式キャスクの除熱評価で設定している周囲温度以下であること。

第 2-13 図及び第 2-14 図に示すように、最も厳しい評価となる燃料仕様を収納した場合において、第 2-6 表に示すとおり乾式キャスク各部及び使用済燃料被覆管温度は評価基準を満足している。また、乾式貯蔵建屋の除熱評価で算出した結果（排気温度）が、乾式キャスクの除熱評価で設定している周囲温度（50℃）以下であり、乾式貯蔵建屋は乾式キャスクの除熱機能を阻害しない。なお、乾式貯蔵建屋の除熱評価にあたっては、MSF-21P 型及び MSF-24P 型の 2 型式の乾式キャスクの収納制限における最大発熱量（MSF-21P 型 [17×17 型燃料収納時]：13.9kW、MSF-21P 型 [14×14 型燃料収納時]：12.1kW、MSF-24P 型：15.8kW）を包絡する 18kW の条件で評価していることから、乾式貯蔵建屋内での乾式キャスクの配置制限は不要である。

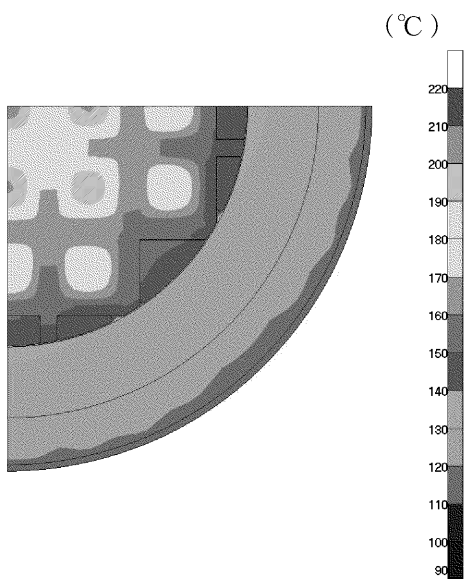
第2-6表 評価結果

項	目	評価結果			評価基準	備	考
		MSF-21P型		MSF-24P型			
		17×17型燃料 収納時	14×14型燃 料収納時				
乾式キヤスク各部	胴、外筒、 一次蓋及び 二次蓋	約 140 °C	約 130 °C	約 150 °C	350 °C 以下 ¹⁾	構造強度が確保される制限温度 (第2-19図、第2-21図及び第2-23図)	
	中性子遮蔽材 (レジン)	約 140 °C	約 130 °C	約 140 °C	149 °C 以下 ²⁾	中性子遮蔽材の性能が維持される制限温度 (第2-19図、第2-21図及び第2-23図)	
	金属ガスケット	約 110 °C	約 110 °C	約 110 °C	130 °C 以下 ³⁾	閉じ込め機能が維持される制限温度 (第2-19図、第2-21図及び第2-23図)	
	バスケット	約 180 °C	約 160 °C	約 200 °C	250 °C 以下 ⁴⁾	構造強度が確保される制限温度 (第2-19図、第2-21図及び第2-23図)	
	使用済燃料被覆管	約 210 °C	約 200 °C	約 220 °C	275 °C (250 °C) 以下 ^{5,6)} 、*	燃料被覆管健全性が維持される制限温度 (第2-20図、第2-22図及び第2-24図)	
乾式キヤスクの 周囲温度		約 45 °C		50 °C 以下		乾式キヤスクの除熱評価で設定している温度	

※：「275 °C 以下」は 17×17 型燃料収納時の評価結果に対する評価基準。一方、「250 °C 以下」は 14×14 型燃料収納時の評価結果に対する評価基準。



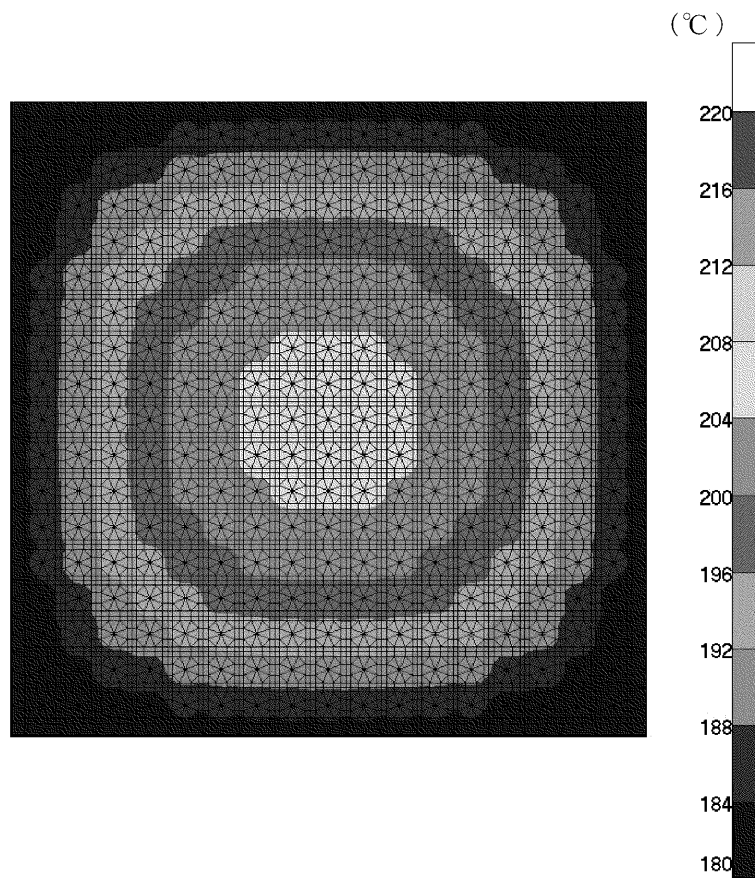
(全体)



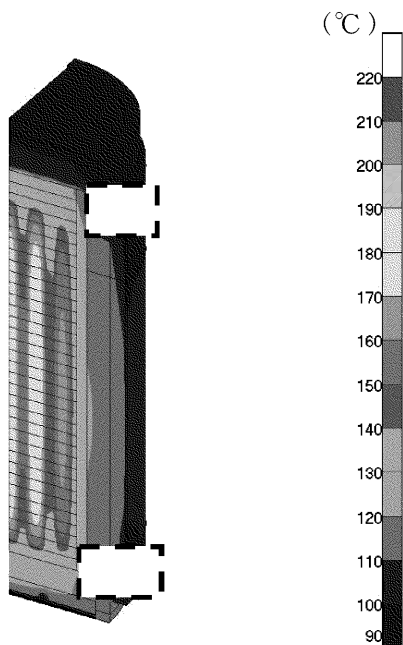
(燃料集合体最高温度位置断面)

第 2-19 図 除熱解析結果(全体モデル)
(MSF-21P 型 17×17 型燃料収納時)

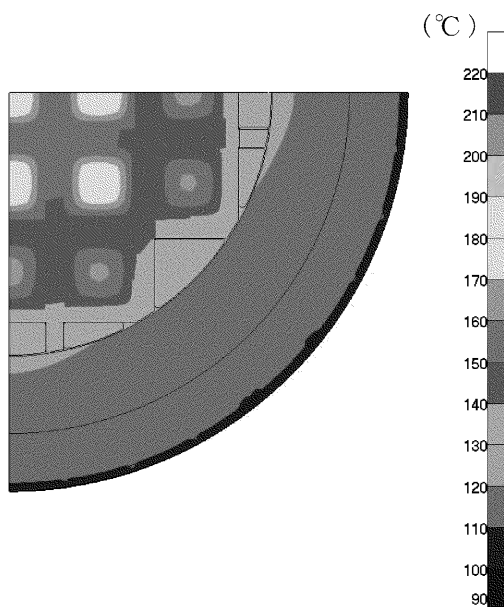
☐☐ : 商業機密に係る事項のため公開できません



第 2-20 図 除熱解析結果(燃料集合体モデル)
 (MSF-21P 型 17×17 型燃料収納時)



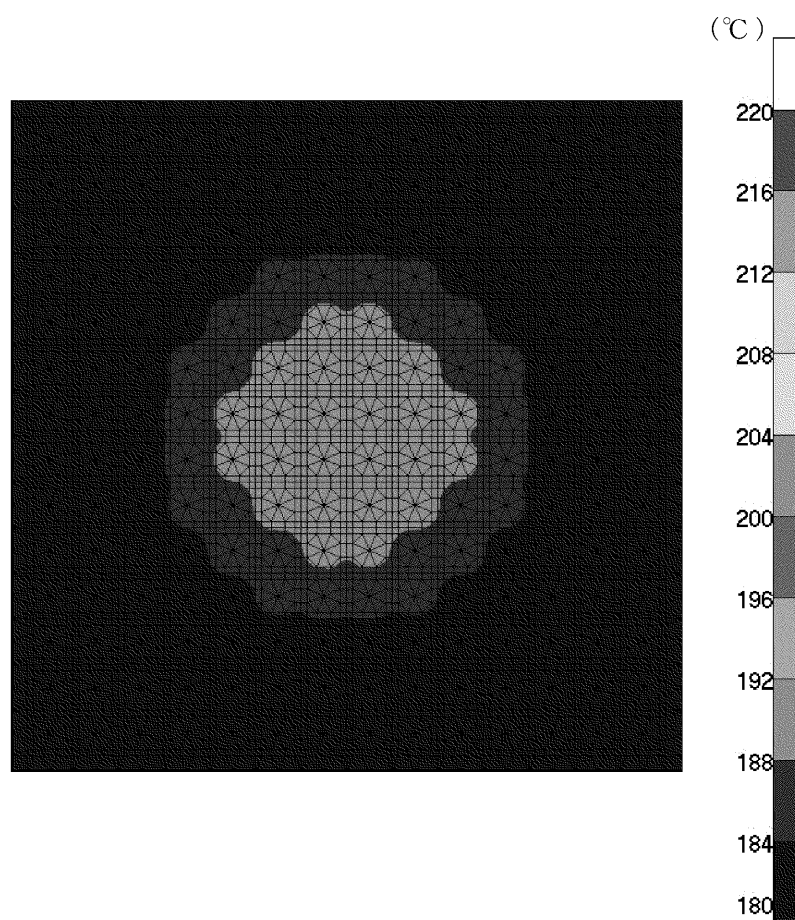
(全体)



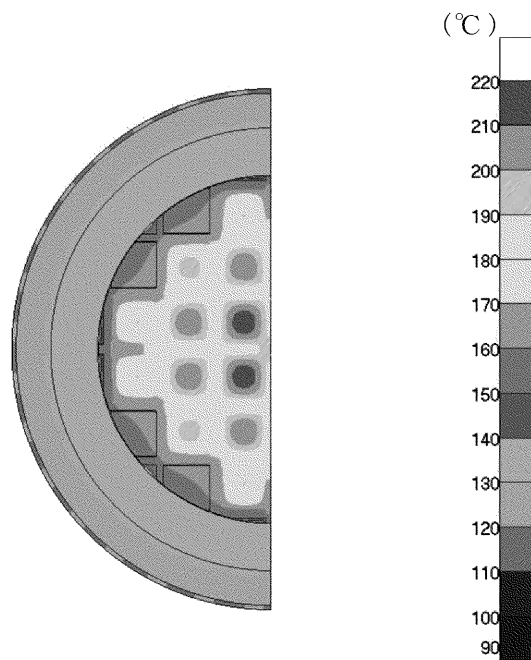
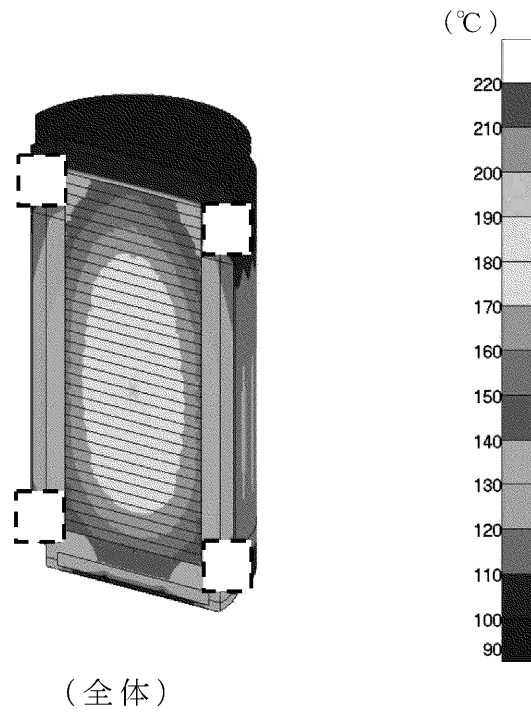
(燃料集合体最高温度位置断面)

第 2-21 図 除熱解析結果(全体モデル)
(MSF-21P 型 14×14 型燃料収納時)

□□ : 商業機密に係る事項のため公開できません

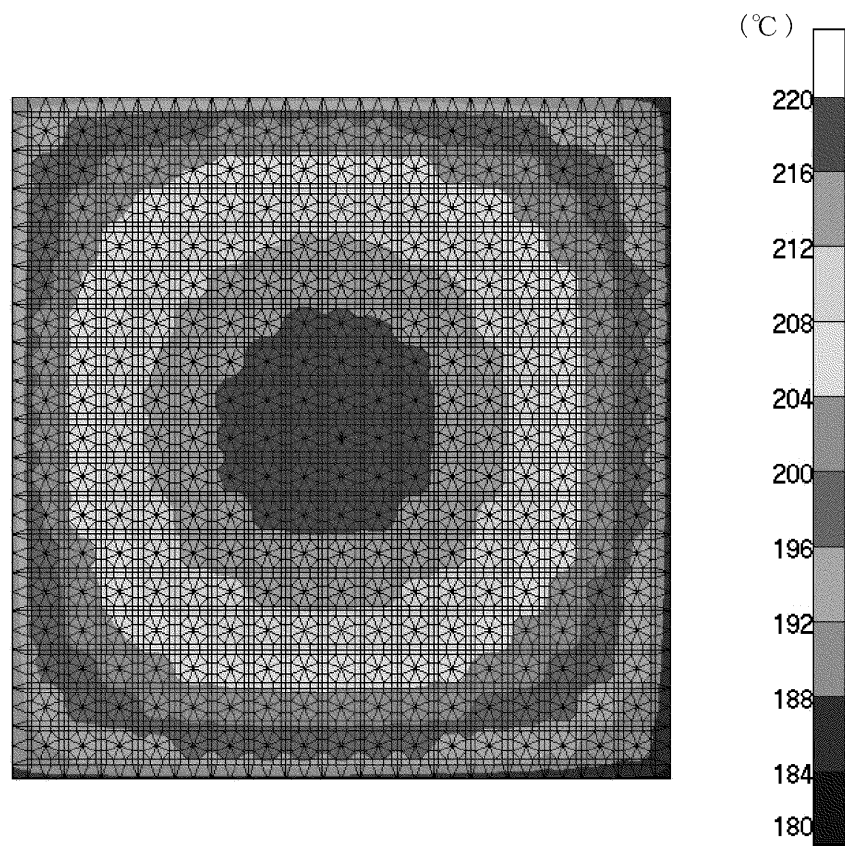


第 2-22 図 除熱解析結果(燃料集合体モデル)
 (MSF-21P 型 14×14 型燃料収納時)



第 2-23 図 除熱解析結果(全体モデル)
(MSF-24P 型)

□□ : 商業機密に係る事項のため公開できません



第 2-24 図 除熱解析結果(燃料集合体モデル)
(MSF-24P 型)

[確認内容]

4) 貯蔵建屋の除熱評価

- ① また、貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しないこと。
- ② 貯蔵建屋を設置する場合であって、放水による冷却等応急復旧による除熱機能の回復を期待するときには、その実施に係る体制を適切に整備すること。

貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しない設計とする。

また、設計上考慮すべき自然現象に対しては、貯蔵建屋等の損壊が生じず、除熱機能は損なわれない設計とし、放水による冷却等応急復旧による除熱機能の回復を期待しない設計とする。(詳細は4、5、6条で説明する。なお、地盤及び周辺斜面の安定性に関しては地盤審査において確認されている。)

特に、以下の貯蔵建屋等の損壊モードについても、想定されない設計とする。

<兼用キャスクの埋没状態>

貯蔵建屋等(貯蔵建屋(兼用キャスク、兼用キャスク取扱設備等を収納する建物)及び遮蔽壁)は、地震(4条)、津波(5条)、外部からの衝撃(6条)による損傷の防止が図られ、損壊しないため、兼用キャスクは埋没しない。また、地盤(3条)及び周辺斜面(4条)も基準地震動に対して、安定であるため、兼用キャスクは埋没しない。

<貯蔵建屋給排気口の損傷状態>

貯蔵建屋給排気口は、貯蔵建屋の一部からなり、地震(4条)、津波(5条)、外部から衝撃(6条)による損傷の防止が図られるため、損壊しない。

3. 使用する解析コード

a. 解析コード

乾式キャスクの除熱安全設計に用いられる解析コードについて、その機能、計算方法、使用実績及び検証結果について説明する。

(a) ORIGEN2 コード

別添3の「玄海原子力発電所*号炉燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済用済燃料乾式貯蔵容器の遮蔽機能について）」6.(a)で説明した内容と同じ。

(b) ABAQUS コード

i 概要

ABAQUS コード⁷⁾は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc.（現在は Dassault Systèmes 社）で開発された有限要素法に基づく伝熱解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの伝熱解析などに広く利用されている。

ii 機能

ABAQUS コードは、伝熱解析に際して以下の機能を有している。

- a) 定常、非定常のいずれの解も得ることができる。
- b) 一次元から三次元の任意形状の構造に対して解くことが可能である。
- c) 初期条件（温度）は要素ごとに変化させることができ、計算ステップの自動決定も可能である。
- d) 境界条件として、時間に依存する熱流束、温度、熱伝導、対流及びふく射が考慮できる。熱伝導率の温度依存が可能で、また、伝熱解析と応力解析（構造強度解析）を同時に行うことが可能なため、ギャップ間の変化による伝熱条件を変化させることができる。
- e) 構成物質の相変態が考慮できる。

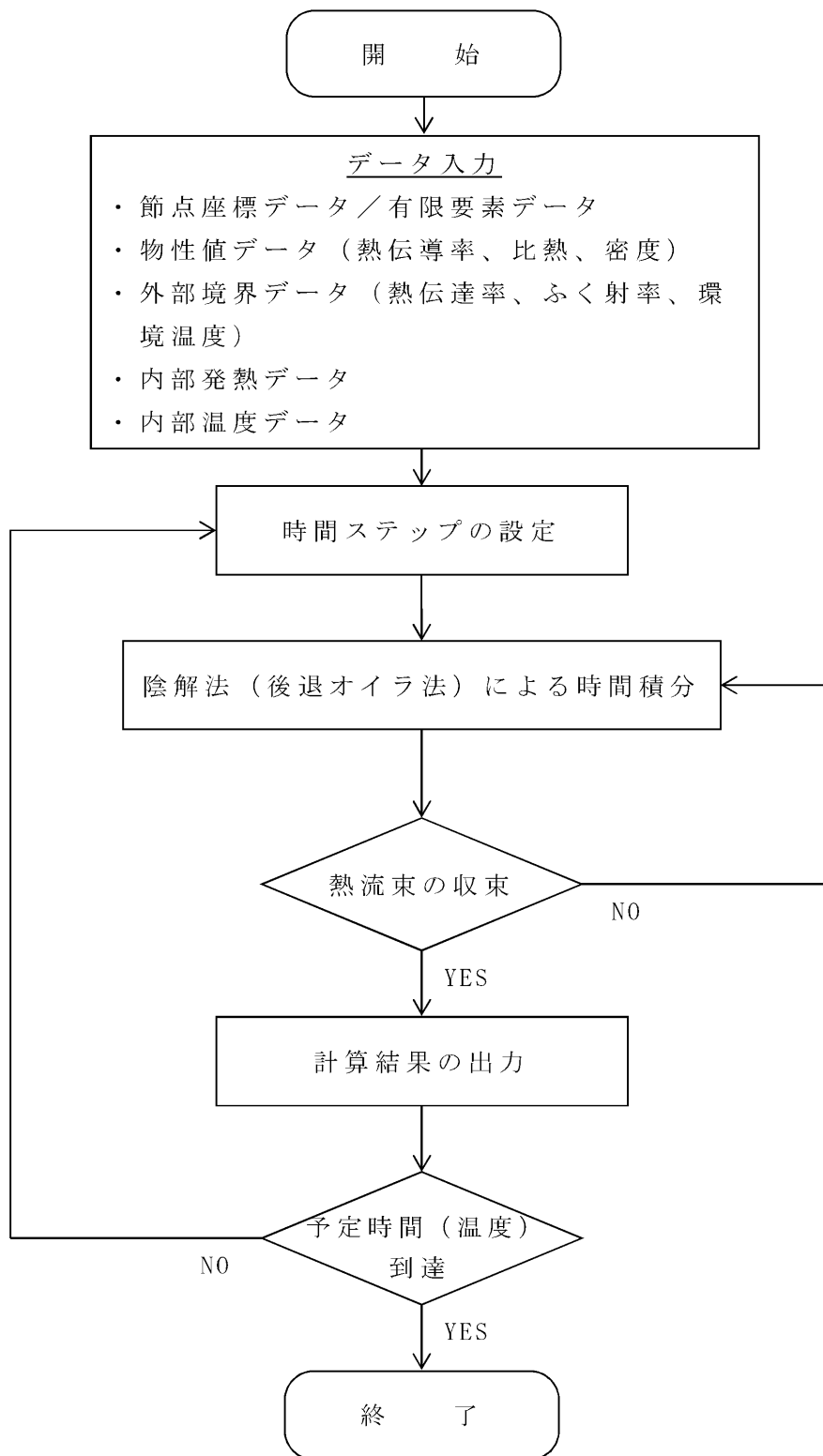
iii 解析フロー

代表的な解析フローを第 2-25 図に示す。

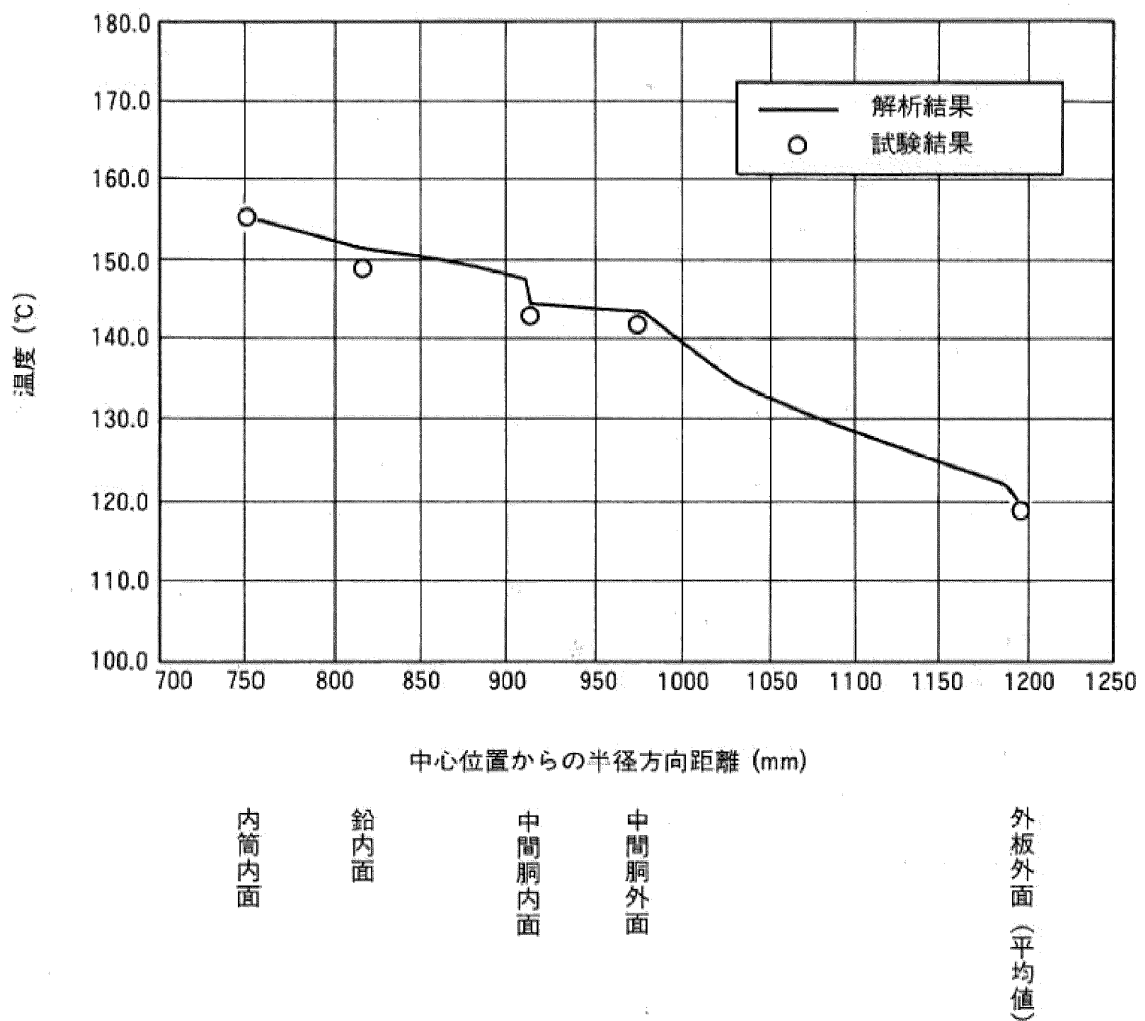
iv 使用実績及び検証

ABAQUS コードは、多くの伝熱解析に使用された実績がある。また、乾式キャスクの定常伝熱試験に対して ABAQUS による解析結果と試験結果を比較・検討し、ABAQUS コードの妥当性が検証されている⁸⁾。

ABAQUS コードの検証例を第 2-26 図に示す。



第 2-25 図 ABAQUS コードの解析フロー図



第 2-26 図 ABAQUS コードの検証例⁸⁾

4. 参考文献

- 1) (一社)日本機械学会, 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年版) (JSME S NJ1-2012)」, (2012).
- 2) BISCO PRODUCTS, Inc., “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, (1986).
- 3) (一財)電力中央研究所, 「平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 報告書」, (2010).
- 4) 三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書本文及び添付書類の一部補正について」, (2017).
- 5) 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」, (2009).
- 6) (独)原子力安全基盤機構, 「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燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」, (2009).
- 7) Dassault Systèmes, “ABAQUS Analysis User’s Manual (6.12)”, (2012).
- 8) 山川秀次, 五味義雄, 尾崎幸男, 小崎明朗, 「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立ーキャスクの伝熱特性評価ー」, (一財)電力中央研究所, (1993).

29 条

工場等周辺における直接線等からの防護

4. ストリーミングの影響について

4.1 概要

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う、玄海原子力発電所敷地等境界外における通常貯蔵時の線量については、「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）に基づき評価を行っている。

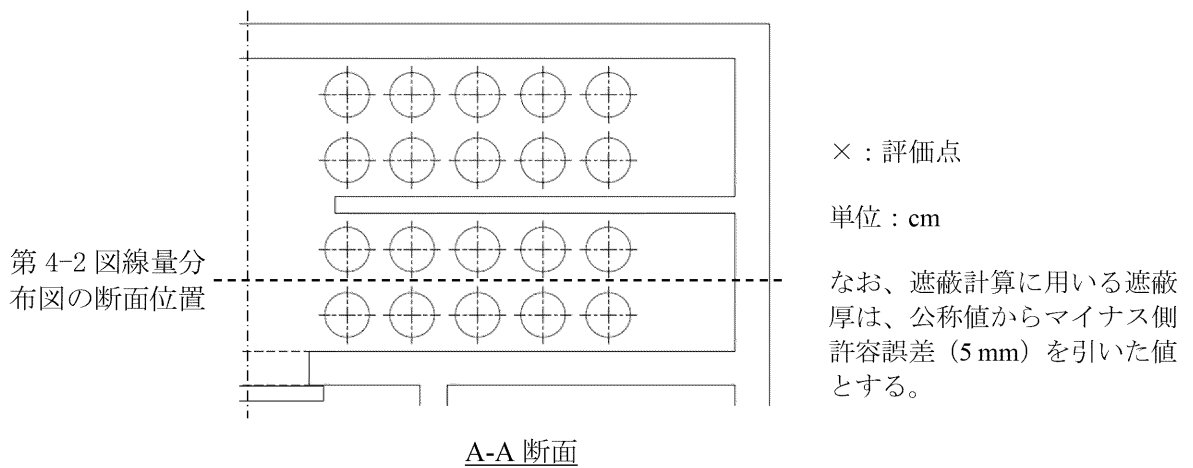
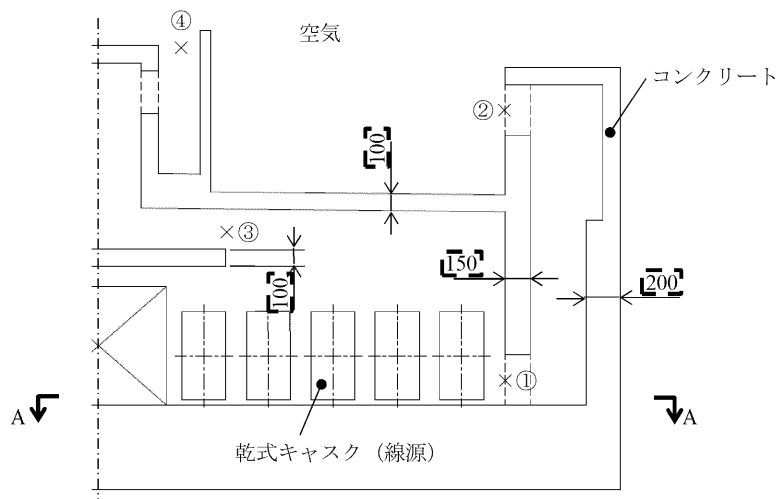
使用済燃料乾式貯蔵建屋については、給排気口からのストリーミングを低減する設計とし、建屋による遮へいにより玄海原子力発電所の敷地等境界外における線量が年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足しているが、ここでは使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口からのストリーミングによる影響について説明する。

なお、給排気口は線源の上方に設置されているため、天井方向の計算と同列であるものとして、ストリーミングによる減衰率と天井による遮へいの減衰率を比較した。

4.2 評価方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口の部分をピックアップし、ストリーミングの影響評価を行った。

具体的には、第 4-1 図に示す評価モデルにて、評価点①～④における線量率を計算し、その割合から迷路構造によるストリーミングの低減効果を評価する。評価は MCNP5 コードを用い、断面積ライブラリはガンマ線評価では MCPLIB84、中性子評価では FSXLIB-J33 をそれぞれ用いた。主な評価条件及び評価コードの概要をそれぞれ第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。



第4-1図 給排気口からのストリーミングの影響評価モデル

┌───┐：防護上の観点から公開できません。

第 4-1 表 主な評価条件

項 目	評価条件	備 考
計算コード	MCNP5 コード	—
断面積ライブラリ	ガンマ線：MCPLIB84 中性子：FSXLIB-J33	—
線源強度	ガンマ線、中性子それぞれ キャスク表面から 1 m 点で 100 μ Sv/h となるように規格化	—
線源スペクトル	包絡スペクトル	—
線源形状	ϕ 260 cm \times H520 cm	等方線源 キャスク同士の相互遮へいは無視する
評価モデル	図 4-1 参照	影響評価として使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口の部分をピックアップして解析
評価点 (タリー)	Mesh Tally (トラック・レングス・エスティメータ) 約 15cm 幅	Mesh Tally の計算結果より、開口部分の平均線量率を概略評価
分散低減	ウェイト・ウィンドウ	—

第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (1 / 2)

コード名 項目	MCNP5
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所 (LANL)
開発時期	2010 年 (初版開発時期 2003 年)
使用したバージョン	1.60
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算)
コードの概要	<p>三次元連続エネルギーモンテカルロコード MCNP5 コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用モンテカルロコードである。</p> <p>このコードは二次曲面の論理演算によって表現された任意の三次元領域を取扱うことができ、形状モデルや断面積データを正確に取り扱うことができる。</p> <p>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ーを採用していること等の利点がある。</p> <p>今回の評価では、ガンマ線評価では EPDL97 をもとに作成された断面積ライブラリ MCPLIB84 (ロスアラモス国立研究所にて整備されたもの) を、中性子評価では JENDL-3.3 をもとに作成された断面積ライブラリ FSX LIB-J33 (日本原子力研究所にて整備されたもの) を用いている。</p>

第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (2 / 2)

コード名 項目	MCNP5
検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算について、MCNPコードを使用して実施している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ MCNP コードは、ガンマ線及び中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら解析条件が与えられればガンマ線及び中性子の放射線束分布解析は可能であり、線量換算係数を乗じることで MCNP コードはガンマ線及び中性子線量計算に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国カンザス州立大学ガンマ線スカイシャインベンチマーク実験の実測値 (MCNP-ラインビームレスポンス接続による BWR タービンスカイシャイン線量評価手法の適用、日本原子力学会和文論文誌 Vol.4 No. 2 (2005)) 及び露国モスクワ物理工科大学 研究用原子炉 IRT 炉実験の実測値 (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.3 (2007)) と計算値を比較した。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、コンクリートを通過あるいは散乱によりストリーミングしたガンマ線あるいは中性子の線量率の実測値と MCNP コードによる計算値を比較している。 ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、コンクリートの深層透過あるいはストリーミングによる放射線束分布を解析し、線量率を計算する。 ・ 今回のガンマ線及び中性子線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・ また、原子力発電所放射線遮へい設計規程 (JEAC4615-2008) では、キャスク保管建屋等の補助遮蔽のための輸送計算コードとして、モンテカルロ法を用いた計算手法の適用が可能とされており、さらに米国では使用済燃料乾式貯蔵施設の審査指針である「Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities」(NUREG-1567) においては遮蔽解析ツールとして MCNP コードが記載されており、遮蔽設計、線量評価等で使用されている。 ・ 断面積ライブラリ MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 については、海上技術安全研究所による実験値 (大西世紀 ほか, 「²⁵²Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」, 海上技術安全研究所報告 第 7 巻 第 3 号 研究報告, (2007)) と MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 による計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、放射線のエネルギーがキャスクのエネルギースペクトルと同等となっており、今回の使用目的と合致している。

4.3 評価結果

4.2 の評価条件をもとに影響評価を行った結果を第 4-3 表に示す。

第 4-3 表のとおり、給気口迷路構造による減衰率 (②/①) 及び排気口迷路構造による減衰率 (④/③) は、天井スラブによる減衰率^(注) (第 2-1 図及び第 2-2 図) と比較して同程度以下であり、ストリーミングを低減できる設計であることを確認している。

参考として建屋内の線量率分布を第 4-2 図に示す。線量率が連続的に変化していることが確認でき、ウェイト・ウィンドウの設定が妥当であると判断できる。また、第 4-2 図がどの断面位置の線量分布を示しているかを、第 4-1 図に破線で示す。

(注) 天井スラブによる減衰率について

給排気口は線源の上方に設置されているため、両者とも天井方向の計算と同列であるものとして、天井スラブの減衰率と比較し、申請用解析で天井スラブの透過を評価している SCATTERING コードによるガンマ線評価及び DORT コードによる中性子評価に対して、迷路構造によるストリーミング効果が小さい、すなわち包含されていることを確認している。

天井スラブの減衰率として、斜め透過のない減衰率を評価している ANISN 評価値を第 4-3 表に示しているが、ストリーミングの影響を包含するために、線源配置を無視した保守側な評価モデルとなっている申請用解析の SCATTERING コードによるガンマ線評価及び DORT コードによる中性子評価はいずれも鉛直方向の成分が支配的となり、同程度の減衰率となることから、比較対象としては妥当である。

なお、MCNP コードによる第 4-1 図に示すモデルでの天井の減衰率と ANISN コードによる減衰率では、MCNP コードの評価値の方がより減衰される傾向である。これは、ANISN コードは 1 次元の評価で純粋なバルク遮蔽の減衰率の、保守側な結果であるのに対し、MCNP コードは 3 次元の評価で線源の配置等の影響により天井に対して斜め方向の遮蔽透過も含む現実的な減衰率が計算されるためである。

第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（中性子）（1 / 2）

評価点	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) () 内は統計誤差 ^(注)	減衰率
①	3.7×10^2 (0.22 %)	9.0×10^{-4}
②	3.3×10^{-1} (0.83 %)	
③	1.9×10^2 (0.37 %)	5.3×10^{-4}
④	1.0×10^{-1} (8.1 %)	
(参 考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ $\boxed{\text{100 cm}}$		1.7×10^{-3}

(注) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

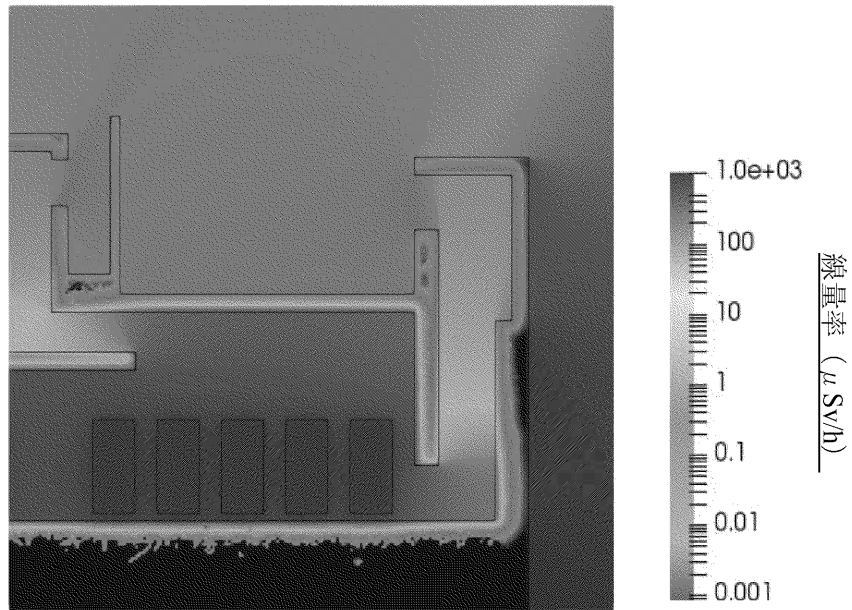
第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（ガンマ線）（2 / 2）

評価点	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) () 内は統計誤差 ^(注1)	減衰率
①	2.1×10^2 (0.39 %)	2.7×10^{-4}
②	5.5×10^{-2} (1.3 %)	
③	7.4×10^1 (0.96 %)	(参 考) 6.4×10^{-5}
④	(参 考) 4.7×10^{-3} (12 %) ^(注2)	
(参 考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ $\boxed{\text{100 cm}}$		3.8×10^{-3}

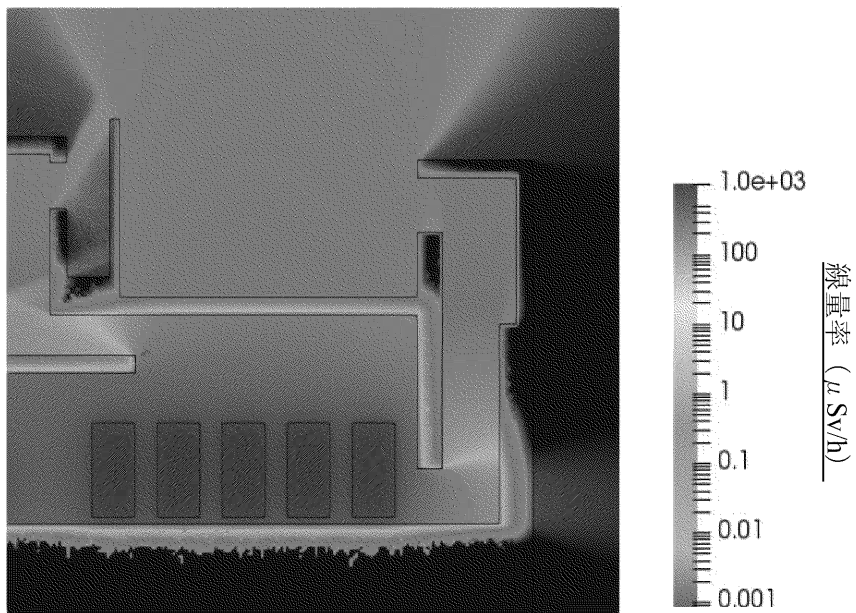
(注1) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

(注2) 統計誤差が大きいため、参考値とする。ただし、放射線が十分減衰されているため、ストリーミングを低減できる設計であることは確認できる。

$\boxed{\text{---}}$: 防護上の観点から公開できません。



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（中性子）（1 / 2）



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（ガンマ線）（2 / 2）

4.4 まとめ

給排気口からのストリーミングによる影響は天井による遮蔽効果と同等であることから、ストリーミングの影響は申請値の算出に使用している天井透過の評価モデルで代表できるため、評価の保守性と相まって申請評価値に包含される。

玄海原子力発電所「使用済燃料乾式貯蔵施設」に伴う条文の整理表

関連条文	○
関連しない条文	×

条文	条文との関連性	備考
第1条 適用範囲	×	適用する基準（法令）についての説明であり、要求事項ではないため、関連条文ではない。
第2条 定義	×	言葉の定義であり、要求事項ではないため、関連条文ではない。
第3条 設計基準対象施設の地盤	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、基準地震動による地震力に対する支持性能を有する地盤に設置する。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第4条 地震による損傷の防止	○	乾式キャスクは、基準地震動による地震動に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。また、周辺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よう設計する。
第5条 津波による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、外部からの衝撃により安全機能を損なわない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行える設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第8条 火災による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災発生防止、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減に必要な措置を講じるものとする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第9条 溢水による損傷の防止等	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、溢水が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第10条 誤操作の防止	×	誤操作の防止に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第11条 安全避難通路等	○	使用済燃料乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設けるとともに、安全避難通路には誘導灯を設ける設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第12条 安全施設	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、安全機能に応じて重要度を分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ維持し得る設計とする。また、想定される環境条件においてその機能を発揮することができ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第13条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	×	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第14条 全交流動力電源喪失対策設備	×	全交流動力電源喪失対策設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第15条 炉心等	×	炉心等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	乾式キャスクが4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）を有する設計とし、閉じ込め機能を監視できる設計とする。また、乾式貯蔵建屋において、乾式キャスクは、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。
第17条 原子炉冷却材圧力バウンダリ	×	原子炉冷却材圧力バウンダリに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第18条 蒸気タービン	×	蒸気タービンに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第19条 非常用炉心冷却設備	×	非常用炉心冷却設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第20条 一次冷却材の減少分を補給する設備	×	一次冷却材を補給する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第21条 残留熱を除去することができる設備	×	残留熱を除去する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第22条 最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	×	最終ヒートシンクへ熱を輸送する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第23条 計測制御系統施設	×	計測制御系統施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第24条 安全保護回路	×	安全保護回路に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	反応度制御系統及び原子炉停止系統に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第26条 原子炉制御室等	×	原子炉制御室等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第27条 放射性廃棄物の処理施設	×	放射性廃棄物の処理施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第28条 放射性廃棄物の貯蔵施設	×	放射性廃棄物の貯蔵施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第29条 工場等周辺における直接線等からの防護	○	通常運転時において、使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を、合理的に達成できる限り小さい値となるように施設を設計する。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第30条 放射線からの放射線業務従事者の防護	○	乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮へい、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第31条 監視設備	×	監視設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第32条 原子炉格納施設	×	原子炉格納施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第33条 保安電源設備	×	保安電源設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。

条文	条文との関連性	備考	
第34条	緊急時対策所	×	緊急時対策所に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第35条	通信連絡設備	×	通信連絡設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第36条	補助ボイラー	×	補助ボイラーに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第37条	重大事故等の拡大の防止等	×	重大事故等の拡大の防止等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第38条	重大事故等対処施設的地盤	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第39条	地震による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第40条	津波による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第41条	火災による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第42条	特定重大事故等対処施設	×	特定重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第43条	重大事故等対処設備	×	重大事故等対処設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第44条	緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	×	緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第45条	原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第46条	原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	×	原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第47条	原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第48条	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	×	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第49条	原子炉格納容器内の冷却等のための設備	×	原子炉格納容器内の冷却等のための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第50条	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	×	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第51条	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	×	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第52条	水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	×	水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第53条	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	×	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第54条	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	×	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のため設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第55条	工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	×	工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第56条	重大事故等の収束に必要な水の供給設備	×	重大事故等の収束に必要な水の供給設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第57条	電源設備	×	電源設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第58条	計装設備	×	計装設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第59条	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	×	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第60条	監視測定設備	×	監視測定設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第61条	緊急時対策所	×	緊急時対策所に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第62条	通信連絡を行うために必要な設備	×	通信連絡を行うために必要な設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。

使用済燃料貯蔵量の推移

○玄海原子力発電所の使用済燃料貯蔵量の推移

玄海原子力発電所の使用済燃料貯蔵量の推移について、下記条件での算出結果を示す。

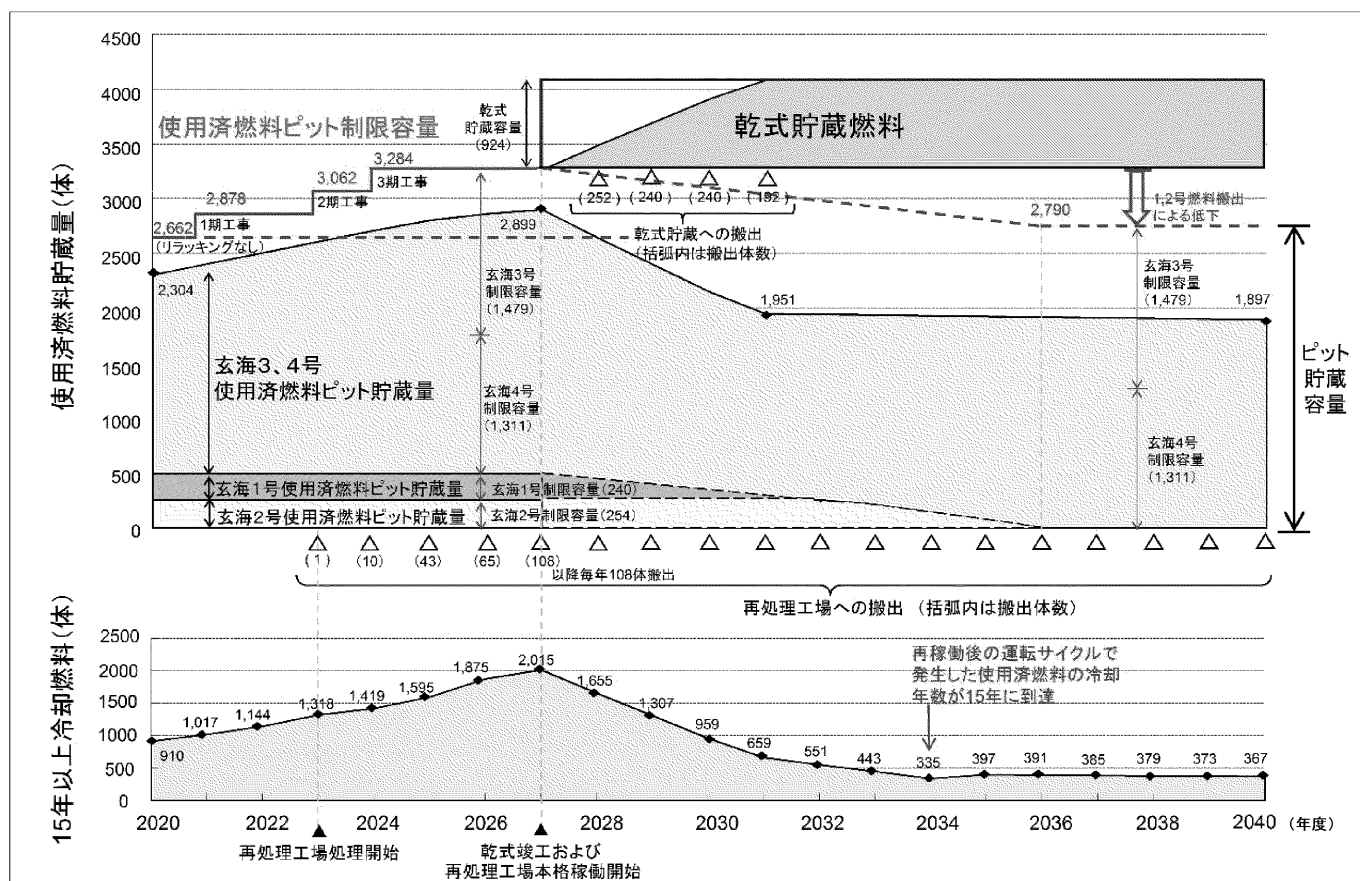
- ・玄海3,4号は運転13ヶ月、定期検査3ヶ月とし、定期検査毎に約70体の使用済燃料が発生。
- ・六ヶ所再処理工場が公表している2023年度の処理開始以降、使用済燃料取得計画の10%を当社割り当てとし、本格稼働開始後は毎年108体の搬出が可能と仮定。
- ・六ヶ所再処理工場へは15年以上冷却された燃料から優先的に搬出。
- ・2027年度の乾式貯蔵竣工後、4年間で40基の兼用キャスクに燃料を収納。
- ・最終的な兼用キャスクの内訳は21体収納型が12基、24体収納型が28基。
- ・廃止措置計画に基づき、玄海1,2号は2040年度までに使用済燃料ピット中の使用済燃料を搬出。

使用済燃料プールの貯蔵状況（2020年8月末時点）（体）

プラント	貯蔵容量	制限容量※ ¹	使用済燃料貯蔵量※ ²
玄海1号	324	240	240 (1)
玄海2号	400	254	254 (43)
玄海3号 [リラッキング後]	1,050 [1,672]	857 [1,479]	654 (275)
玄海4号	1,504	1,311	1,156 (692)

※1 制限容量：貯蔵容量から1炉心（193体）を引いた容量。ただし、玄海1,2号は廃止を決定しており、使用済燃料は増加しないことから現在の貯蔵量を制限容量とする。

※2 括弧内の数値は15年以上冷却された燃料体数（内数）



○2020年8月末時点における使用済燃料貯蔵量

使用済燃料(体)											
号機	玄海1号		玄海2号		玄海3号		玄海4号				
冷却期間 (年)	燃料		48GWd/t	55GWd/t	48GWd/t	55GWd/t	48GWd/t	MOX	48GWd/t		
	48GWd/t	55GWd/t							4号	1号	2号
0 ~ 5	0	0	0	0	89	0	81	0	0		
5 ~ 10	0	121	65	56	85	0	161	0	0		
10 ~ 15	87	31	90	0	205	0	222	0	0		
15 ~	1	0	43	0	275	0	412	112	168		
計	88	152	198	56	654	0	876	112	168		
	240		254		654		1,156				

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

先行電力との申請に関する設計方針において、差異の概要を示す。

なお、サイト固有条件や個別設計（設計方針は同じ）に基づく差異は除く。

	先行電力	九電	差異
3条	乾式貯蔵建屋は基準地震動に対して十分な支持力を有する地盤に設置する。	同左	なし
4条	乾式キャスクは基準地震動に対して耐震性を有する設計とする。 波及的影響： ・貯蔵建屋 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。 ・天井クレーン 基準地震動の発生確率や作業時間を考慮した確率論的考察により重畳考慮不要とする。	同左 波及的影響： ・貯蔵建屋 同左 ・天井クレーン 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。	なし なし あり
5条	基準津波の到来しない設置位置	同左	なし
6条	乾式貯蔵施設（乾式貯蔵建屋、乾式キャスク）として1項、3項を適用し設計。	乾式貯蔵建屋は、PS-3として1項、3項を適用し外部事象に対して設計。 乾式キャスクは4項、6項を適用し竜巻、外部火災に対して設計。	なし あり
7条	再稼働時方針と同じ。	同左	なし
8条	放射性物質の貯蔵等の機器等である乾式貯蔵容器を貯蔵する乾式貯蔵建屋を火災区域として設定する。 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア、取扱エリア及びユーティリティエリアの建屋全域を火災区画として設定している。	同左 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア及び乾式貯蔵容器を取り扱う取扱エリアを火災区画として設定する。 なお、火災区画を設定しないユーティリティエリア（コンプレッサ室含む）については、貯蔵エリア及び取扱エリアと同様に、消防法に基づき火災感知器及び消火設備を設置するため、設計の相違はない。	なし あり
9条	200m 浸漬評価により影響を受けない。	同左	なし
11条	安全避難通路を設ける。	同左	なし

	先行電力	九電	差異
12条	キャスク：PS-2 建屋：PS-3	同左	なし
16条	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2号用 (14×14 48G)</p> <p>MSF-32P (単一燃料)</p> <p>3号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>【4つの安全機能】 貯蔵状態での安全機能維持 想定事象による安全機能維持</p> <p>【長期健全性】 設計貯蔵期間 (60年) において安全 機能維持できる設計</p> <p>【監視装置】 蓋間圧力計、表面温度計、雰囲気温 度計を設けて監視できる設計。 監視頻度は3ヶ月/回</p>	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2/3/4号用 (14×14 48G) (14×14 55G) (17×17 48G)</p> <p>MSF-21P (複数種燃料、燃料型の混載 無)</p> <p>3/4号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>同左</p> <p>同左</p> <p>55G 燃料健全性</p> <p>同左</p>	<p>あり</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>あり</p> <p>なし</p>
29条	<p>建屋を設ける事で年間 50μSv/y を 満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 管理区域境界線量評価を行う。 敷地境界線量評価を行う。 (補足) 開口部のストリーミング影響評価 を行う。 	<p>同左</p> <ul style="list-style-type: none"> 同左 (30条に評価結果を記載。) 敷地等境界線量評価を行う。 (補足) 同左 	<p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p>
30条	<p>建屋壁を境界として管理区域境界を 設ける。 建屋外及びユーティリティエリアは 非管理区域。 飛び地管理。 線量当量率の表示を行う。</p>	同左	なし