

-本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	D S F - 0 1 0
提出年月日	令和3年4月1日

伊方発電所3号機
設計及び工事計画に係る説明資料
(使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について)
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年4月
四国電力株式会社

資料 10～14 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 10 強度に関する説明書

資料 11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書

資料 12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

資料 13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書

資料 14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

補足説明資料目次

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納燃料の仕様に関する補足説明資料

2. 添付資料に関する補足説明資料
 - 2-1 資料10に係る補足説明資料 今回提出資料（回答箇所抜粋）
 - 2-2 資料11に係る補足説明資料
 - 2-3 資料12に係る補足説明資料 今回提出資料（回答箇所抜粋）
 - 2-4 資料13に係る補足説明資料
 - 2-5 資料14に係る補足説明資料
 - 2-6 評価内容全般に係る補足説明資料 今回提出資料

2. 添付資料に関する補足説明資料

2-1 資料 10 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-1 資料10に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-1-1	ABAQUS解析モデル	密封容器及び外筒等の強度計算で用いたABAQUS解析モデルの概要を示す。	資料10-3-2-1 密封容器の強度計算方法 資料10-3-2-4 外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの強度計算方法
2-1-2	各計算条件の概要	密封容器等の強度計算における計算条件の概要を示す。	資料10-3 キャスク本体その他のキャスクを構成する部材に係る強度に関する説明書
2-1-3	長期健全性に係る各部位の温度制限値について	長期健全性に係る各部位の温度制限値を示す。	資料10-3 別紙1 使用済燃料乾式貯蔵容器を構成する部材の長期健全性について
2-1-4	アルミニウム合金の材料規定の根拠	アルミニウム合金の材料規定の根拠を示す。	資料10-3 別紙2 アルミニウム合金の材料特性について

2-1-3 長期健全性に係る各部位の温度制限値について

1. はじめに

本資料は資料 10-3 別紙 1「使用済燃料乾式貯蔵容器を構成する部材の長期健全性について」における各部位の温度制限値を示すものである。

2. 温度制限値

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）の主要な構成部位の温度制限値について 2-1-3-1 表に示す。

2-1-3-1 表 乾式キャスク（タイプ 1,2）の主要な構成部位の温度制限値

構成部材	材質	温度制限値 (°C以下)	根拠
胴、一次蓋、二次蓋	炭素鋼 (GLF1)	350	「(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).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
外筒、 蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 (SGV480)		
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630)		
一次蓋ボルト、 二次蓋ボルト	合金鋼 (SNB23-3)		
下部端板、 底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 (SUS304)	425	
バスケット	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	250	「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).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
伝熱フィン	銅 (C1020)	200	「(一財)日本規格協会、『圧力容器の設計(JIS B 8267:2015)』,(2015).」において設計用強度と物性値が規定されている範囲に制限する。
金属ガスケット	ニッケル基合金/ アルミニウム	130	「(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).」において長期の健全性が確認されている範囲に制限する。
中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	樹脂 (レジン)	149	「BISCO PRODUCTS, Inc., “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, (1986).」において示されているエポキシ系レジンの使用可能温度範囲に制限する。
使用済燃料被覆管	ジルカロイ	275	「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).」において示されている機械的劣化を防止する制限温度範囲に制限する。

2-1-4 アルミニウム合金の材料規定の根拠

1. はじめに

本資料は資料 10-3 別紙 2「アルミニウム合金の材料特性について」におけるアルミニウム合金の強度に係る規定の設定根拠を示すものである。

2. 設定根拠

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）に使用するアルミニウム合金（MB-A3004-H112）の強度に係る規定の設定根拠については、当該材料のデータを取得した三菱重工業(株)が同社の別型式のキャスクの型式指定申請（含む補正申請）（平成 29 年 8 月 10 日付 L5-95HU131）の添付書類 8-2-4 において設計貯蔵期間（60 年）中の熱影響を考慮した強度設定等をデータパッケージとしてまとめており、その設定が妥当であることを含め認可されている。

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）においては、認可されているキャスクと同じアルミ材を使用し、使用環境も同等でかつ使用温度範囲内であることから、同規定が使用可能である。資料 15「外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書」に示す核燃料輸送物設計承認においても、当該材料を使用することを含めて承認を受けている。

当該データパッケージの概要及び、アルミニウム合金 MB-A3004-H112 材の設計強度の設定の考え方を、以下に概略を示す。

①データパッケージ「バスケットプレート用材料アルミニウム合金（MB-A3004-H112）について」の概要

主に、以下の材料仕様や特性、設計強度について記載されている。

- ・材料の仕様（適合規格、化学成分、機械的性質、寸法の許容差）
- ・使用条件（適用範囲、温度範囲）
- ・製造工程及び製造条件（製造方法、熱処理、品質管理）
- ・化学成分、マクロ及びミクロ組織
- ・機械的性質（常温引張特性、靱性（初期材、時効材））
- ・高温引張特性（初期材、時効材）、低温引張試験
- ・クリープ特性
- ・耐食性
- ・設計強度（設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力）
- ・熱物性、弾性定数、線膨張係数、照射影響

②アルミニウム合金 MB-A3004-H112 材の設計強度の設定の考え方

設計強度は、JSME「材料規格」の新規材料採用ガイドラインに準拠し、データパッケージに記載されている製品形状材料の常温試験から得られた常温規定値に、高温試験結果等を考慮して以下の通り、各温度の設計強度（設計降伏点、設計引張強さ、設計応力強さ、許容引張応力）が算出されている。

(1) 設計降伏点

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、規定値にトレンドカーブから算出した結果を 2-1-4-1 表に示す。

なお、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T を乗じて、各温度の設計降伏点を算出する。

2-1-4-1 表 各温度における設計降伏点 S_y (MPa)

項目 \ 温度(°C)	-40~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
常温の耐力規定値 S_{Y0}	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
耐力比 R_T (トレンドカーブ)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.963	0.901	0.814	0.705	0.582	0.459	0.356	0.298
時効後強度比率 A_T (トレンドカーブ)	0.668	0.683	0.684	0.691	0.704	0.722	0.742	0.760	0.773	0.783	0.791	0.806	0.843
$S_{Y0} \times R_T \times A_T$ (MPa) (=設計降伏点 S_y , 時効後)	56	56	56	56	56	56	56	52	46	38	30	24	21

注*：325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

R_T ：温度トレンドカーブ（1.0 を超える分は 1.0 へ修正）

$$= 5.79491 \times 10^{-13} T^5 - 1.66013 \times 10^{-10} T^4 - 8.26469 \times 10^{-8} T^3 + 2.25276 \times 10^{-5} T^2 - 1.41233 \times 10^{-3} T + 1.02372$$

S_{Y0} ：常温の耐力規定値

時効後強度比率 A_T ：初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比（最小値トレンドカーブ）

$$= 1.12046 \times 10^{-12} T^5 - 1.01355 \times 10^{-9} T^4 + 3.26910 \times 10^{-7} T^3 - 4.40188 \times 10^{-5} T^2 + 2.62581 \times 10^{-3} T + 0.625057$$

(2) 設計引張強さ

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、規定値にトレンドカーブから算出した結果を 2-1-4-2 表に示す。

なお、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T を乗じて、各温度の設計引張強さを算出する。

2-1-4-2 表 各温度における設計引張強さ S_u (MPa)

項目 \ 温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
常温の引張強さ規定値 S_T	185	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
引張強さ比 R_T (トレンドカーブ)	1.000	0.999	1.000	0.983	0.932	0.852	0.750	0.636	0.522	0.421	0.341	0.284	0.245
時効後強度比率 A_T (トレンドカーブ)	0.828	0.859	0.849	0.834	0.817	0.803	0.796	0.796	0.804	0.818	0.837	0.857	0.871
$S_T \times R_T \times A_T$ (MPa) (=設計引張強さ S_u , 時効後)	153	153	153	151	140	126	110	93	77	63	52	44	39

注* : 325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

R_T : 温度トレンドカーブ (1.0 を超える分は 1.0 へ修正)

$$= -1.95417 \times 10^{-12} T^5 + 2.10725 \times 10^{-9} T^4 - 7.74787 \times 10^{-7} T^3 + 1.06151 \times 10^{-4} T^2 - 5.69199 \times 10^{-3} T + 1.09402$$

S_T : 常温の引張強さ規定値

時効後強度比率 A_T : 初期材に対する時効後の引張強さの比 (最小値トレンドカーブ)

$$= -1.41195 \times 10^{-10} T^4 + 1.22362 \times 10^{-7} T^3 - 3.33818 \times 10^{-5} T^2 + 3.03301 \times 10^{-3} T + 0.771645$$

(3) 設計応力強さ

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、(1)項及び(2)項の結果を引用し、算出した結果を 2-1-4-3 表に示す。

なお、2-1-4-3 表に示す $1.0/3S_T \times R_T \times A_T$ について、材料規格新規材料採用ガイドラインでは $1.1/3S_T \times R_T$ となっている。材料規格新規材料採用ガイドラインで採用している 1.1 倍について、アルミニウム合金では高温強度特性における動的ひずみ時効に伴う強度向上は確認されているが、全評価温度域において動的ひずみ時効に伴う強度向上が明確ではない。そのため、保守的な評価となるよう、本材料では 1.0 倍を採用する。また、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T (2-1-4-1 表参照) 又は A_T (2-1-4-2 表参照) を乗じて、各温度の設計応力強さを算出する。

2-1-4-3 表 各温度における設計応力強さ S_m

試験温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325*	350*
$1/3S_T$	61.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$1.0/3S_T \times R_T \times A_T$	51.1	52.9	52.4	50.5	47.0	42.2	36.8	31.2	25.9	21.3	17.6	15.0	13.1
$2/3S_{Y0}$	56.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$2/3S_{Y0} \times R_T \times A_T$	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	37.9	35.0	30.9	25.8	20.6	16.3	14.2
最小値	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	36.8	31.2	25.9	21.3	17.6	15.0	13.1
S_m (MPa)	37	37	37	37	37	37	36	31	25	21	17	14	13

注* : 325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

S_{Y0} : 常温における降伏点 (耐力) の規定値

R_T : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規定値

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

A_T : 引張強さの時効後強度比率 (初期材に対する時効後の引張強さの比)

A_T : 0.2%耐力の時効後強度比率 (初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比)

(4) 許容引張応力

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格新規採用ガイドラインに準拠し、クリープ試験、(1)項及び(2)項の結果を引用し、算出した結果を 2-1-4-4 表に示す。

なお、2-1-4-4 表に示す $1/4S_T$ 及び $1.0/4S_T \times R_T \times A_T$ について、材料規格新規材料採用ガイドラインでは $1/3.5S_T$ 及び $1.1/3.5S_T \times R_T$ となっている。材料規格新規材料採用ガイドラインで採用している 1.1 倍について、アルミニウム合金では高温強度特性における動的ひずみ時効に伴う強度向上は確認されているが、全評価温度域において動的ひずみ時効に伴う強度向上が明確ではない。また、係数 1/3.5 は、使用実績があり材料強度特性上の問題が生じていないことから定められた係数である。よって、保守的な評価となるよう、本材料では 1.0 倍及び係数 1/4 を採用する。

さらに、当該材料では、時効による強度低下を考慮するため、時効後強度比率 A_T (2-1-4-1 表参照) 又は A_T (2-1-4-2 表参照) を乗じて、各温度の許容引張応力を算出する。

2-1-4-4 表 各温度における許容引張応力 S

試験温度(°C)	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275*	300*	325*	350*
$1/4S_T$	46.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$1.0/4S_T \times R_T \times A_T$	38.3	39.7	39.3	37.9	35.2	31.7	27.6	23.4	19.4	16.0	13.2	11.2	9.9
$2/3S_{Y0}$	56.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$2/3S_{Y0} \times R_Y \times A_Y$	37.8	38.7	38.8	39.1	39.9	39.4	37.9	35.0	30.9	25.8	20.6	16.3	14.2
S_{Ravg}	-	-	92.0	67.6	49.6	36.4	26.7	19.6	14.4	(10.6)	(7.8)	(5.7)	(4.2)
S_{Rmin}	-	-	(71.2)	(51.4)	37.1	26.8	19.3	13.9	10.1	(7.3)	(5.2)	(3.8)	(2.7)
$10^{(1/n)}$	-	-	-	-	-	-	0.72	-	0.78	-	0.87	-	0.73
F_{avg}	-	-	(0.67)	(0.67)	(0.67)	(0.67)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
$F_{avg}S_{Ravg}$	-	-	(61.7)	(45.3)	(33.2)	(24.4)	17.9	13.2	9.7	(7.1)	(5.2)	(3.8)	(2.7)
$0.8S_{Rmin}$	-	-	(57.0)	(41.1)	(29.7)	(21.4)	15.5	11.2	8.1	(5.8)	(4.2)	(3.0)	(2.2)
$1.0S_C$	-	-	(129.0)	(81.6)	(51.6)	(32.7)	20.7	13.1	(8.3)	(5.2)	(3.3)	(2.1)	(1.3)
最小値	37.8	38.7	38.8	37.9	29.7	21.4	15.5	11.2	8.1	5.2	3.3	2.1	1.3
S (MPa)	37	37	37	37	29	21	15	11	8	5	3	2	1

注* : 275°C、300°C、325°C、350°Cの値は最高温度での評価値であり、規定値ではない。

括弧内の数値 : クリープ試験及びクリープ破断試験を実施した温度以下又は応力以下における外挿値である。これらクリープ外挿値が引張特性に起因する諸値よりも小さな値となった場合(すなわち 150~175°C)においては、安全側の評価のためにクリープ外挿値を採用した。

S_{Ravg} : 100,000 時間での破断を生じる平均応力

S_{Rmin} : 100,000 時間での破断を生じる最小応力

S_C : 0.01% / 1,000 時間のクリープ速度を生じる応力の平均値

F_{avg} : S_{Ravg} に適用する係数。ただし、0.67 を超えない値とする。

$$F_{avg} = 10^{(1/n)}$$

n : 100,000 時間でのクリープ破断時間の対数と応力の対数との曲線の傾きで下式で表される負の値

$$n = \Delta \log(\text{クリープ破断時間}) / \Delta \log(\text{応力})$$

S_{Y0} : 常温における降伏点 (耐力) の規定値

R_Y : 当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力)

S_T : 常温における引張強さの規定値

R_T : 当該温度での引張強さ / 常温の引張強さ

A_T : 引張強さの時効後強度比率 (初期材に対する時効後の引張強さの比)

A_Y : 0.2%耐力の時効後強度比率 (初期材に対する時効後の 0.2%耐力の比)

3. 添付資料

添付1 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(L5-95HU131)」, (2017). 添付資料 8-2-4 「バスケットプレート用材料アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) について」

2-3 資料 12 に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-3 資料12に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-3-1	臨界解析詳細条件	臨界解析条件の詳細を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-2	臨界解析詳細結果	臨界解析結果の詳細を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-3	臨界解析における条件設定根拠	臨界解析の解析条件の設定根拠及び妥当性を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-4	臨界解析コードSCALEを用いることの妥当性	臨界解析コードSCALEを用いることの妥当性を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
2-3-5	水位変動による臨界解析への影響	乾式キャスク内部の水位変動による臨界解析への影響を示す。	資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

2-3-5 水位変動による臨界解析への影響

1. はじめに

本資料は乾式キャスク内部の注排水作業時に想定される水位変動による臨界解析への影響について説明するものである。

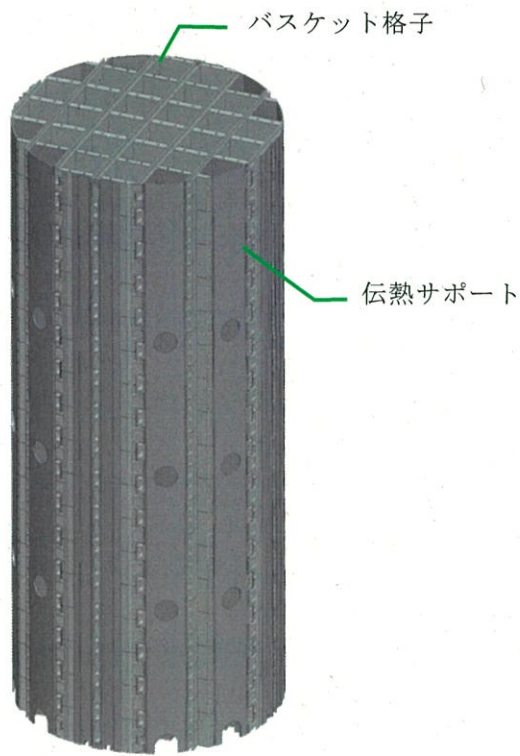
2. 水位変動時のバスケット内部の状態について

乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）のバスケットは、バスケット格子を菓子折り状に組み合わせることにより燃料集合体が収納されるセルを構成し、周辺部にキャスク本体への熱伝導を補助するため、伝熱サポートを設ける構造となっている。バスケットの構造図を 2-3-5-1 図に示す。

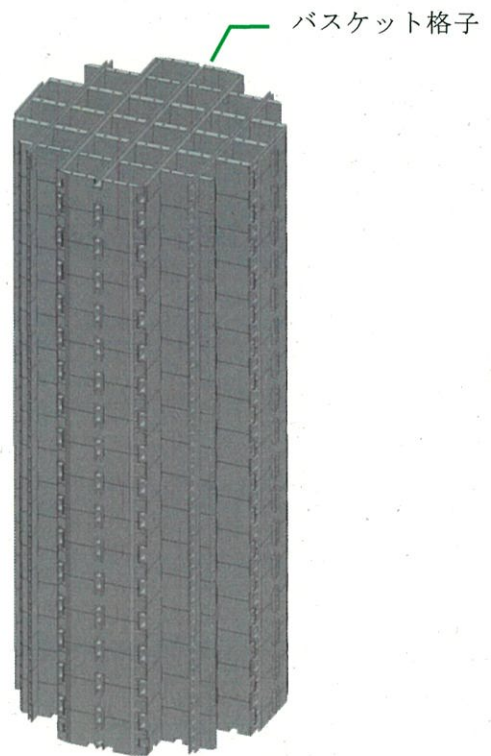
燃料集合体が収納されるバスケット格子内部及び伝熱サポートは、キャスク長手方向に空間が存在するため、注排水時に気層が局所的に留まることは無い。バスケット格子は、キャスクの長手方向に積層されるが、バスケット格子の中空構造部の水の出入りを行うために、バスケット格子の最上端から最下端まで通じた複数の通水孔が設けられており、バスケット格子の中空構造部に気層が残留しにくい構造としている。また、バスケット格子の板両端は開口しており、この部分からも水の流出入が可能な構造である。

燃料集合体を収納した状態での注排水作業は、一次蓋のドレンパイプを通じて約 1.8～2.5m³/hr 程度の非常に遅い速度で実施される。この速度では、バスケット格子 1 枚の高さ相当（約 240mm）の水位上昇（下降）には約 7～10 分を要することとなり、水位上昇（下降）速度は極めて緩慢である。

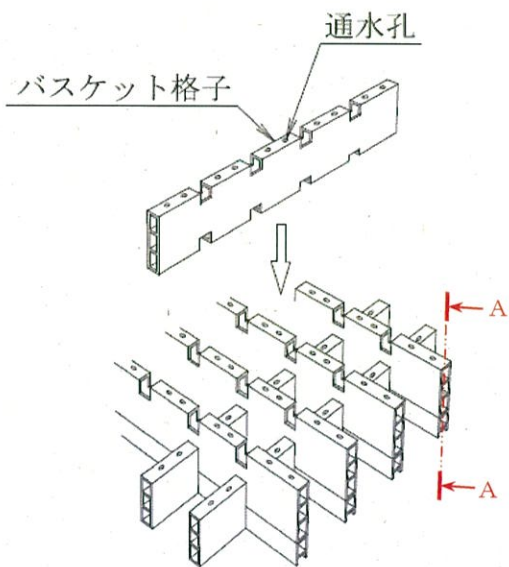
以上の通り、バスケット内外において水位差が出ないように設計上の配慮を行っていることから、バスケット内部において注水時における気層の残留または排水時における水層の残留は生じない。



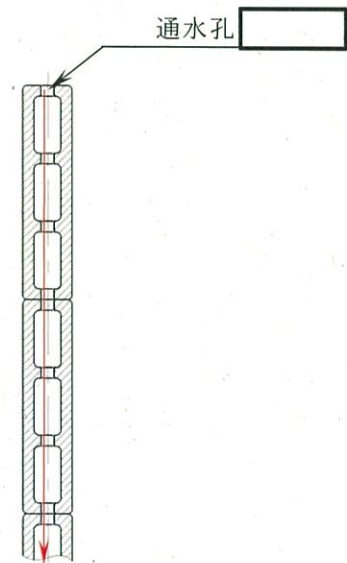
a. バスケット全体図



b. バスケット格子全体図



c. バスケット格子部分組立図

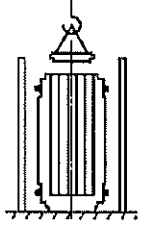
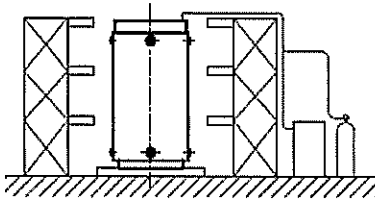
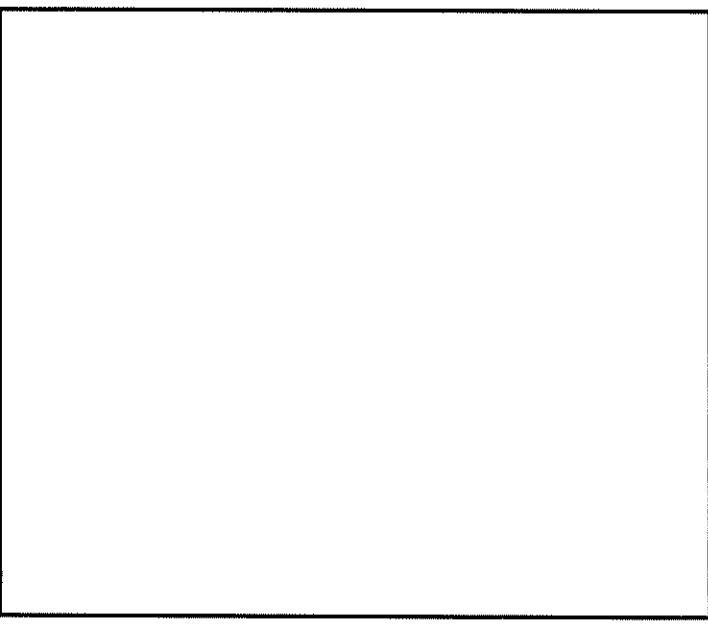
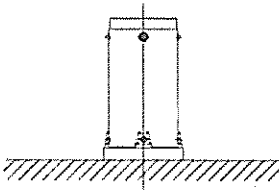


d. 通水孔詳細
(断面A-A)

2-3-5-1 図 バスケット構造 (乾式キャスク (タイプ2) の例)

3. 水位変動による臨界解析への影響について

乾式キャスク内部の水位変動に伴う実効増倍率の変化について 2-3-5-1 表に示す。水位の低下に伴い実効増倍率も低下することから、実効増倍率は冠水状態が最大である。

No.	取扱手順	実効増倍率評価結果 (3 σ 込み)
1	燃料装荷・一次蓋取付 	(冠水状態) 0.92
2	排水 真空乾燥 不活性ガス充填 	
3	貯蔵 	(乾燥状態) 0.39

2-3-5-1 表 水位変動における実効増倍率評価結果
 (乾式キャスク (タイプ 2) の例)

2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料
 （使用済燃料乾式貯蔵容器の安全性について）

■資料No. 2-6 評価内容全般に係る補足説明資料

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-6-1	核燃料輸送物設計承認申請書における評価との比較について	本申請における評価内容及び核燃料輸送物設計承認申請書における評価内容の比較を示す。	資料10-3 キャスク本体その他のキャスクを構成する部材に係る強度に関する説明書 資料11 使用済燃料貯蔵用容器の密封性を監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書 資料12 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書 資料13 使用済燃料貯蔵用容器の冷却能力に関する説明書 資料14 使用済燃料貯蔵用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

2-6-1 核燃料輸送物設計承認申請書における
評価との比較について

1. はじめに

本申請における乾式キャスク（タイプ 1 及びタイプ 2）は兼用キャスクであり、資料 15「外運搬規則第二十一条第二項の規定による容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けたことに関する説明書」に示す通り、核燃料輸送物設計承認（以下「設計承認」という。）を受けている。

本資料は、本申請における資料 10～資料 14 において記載している各評価内容と設計承認申請書において輸送物の安全性を示すための評価内容との比較を示すものである。

2. 設計承認申請書における評価との比較について

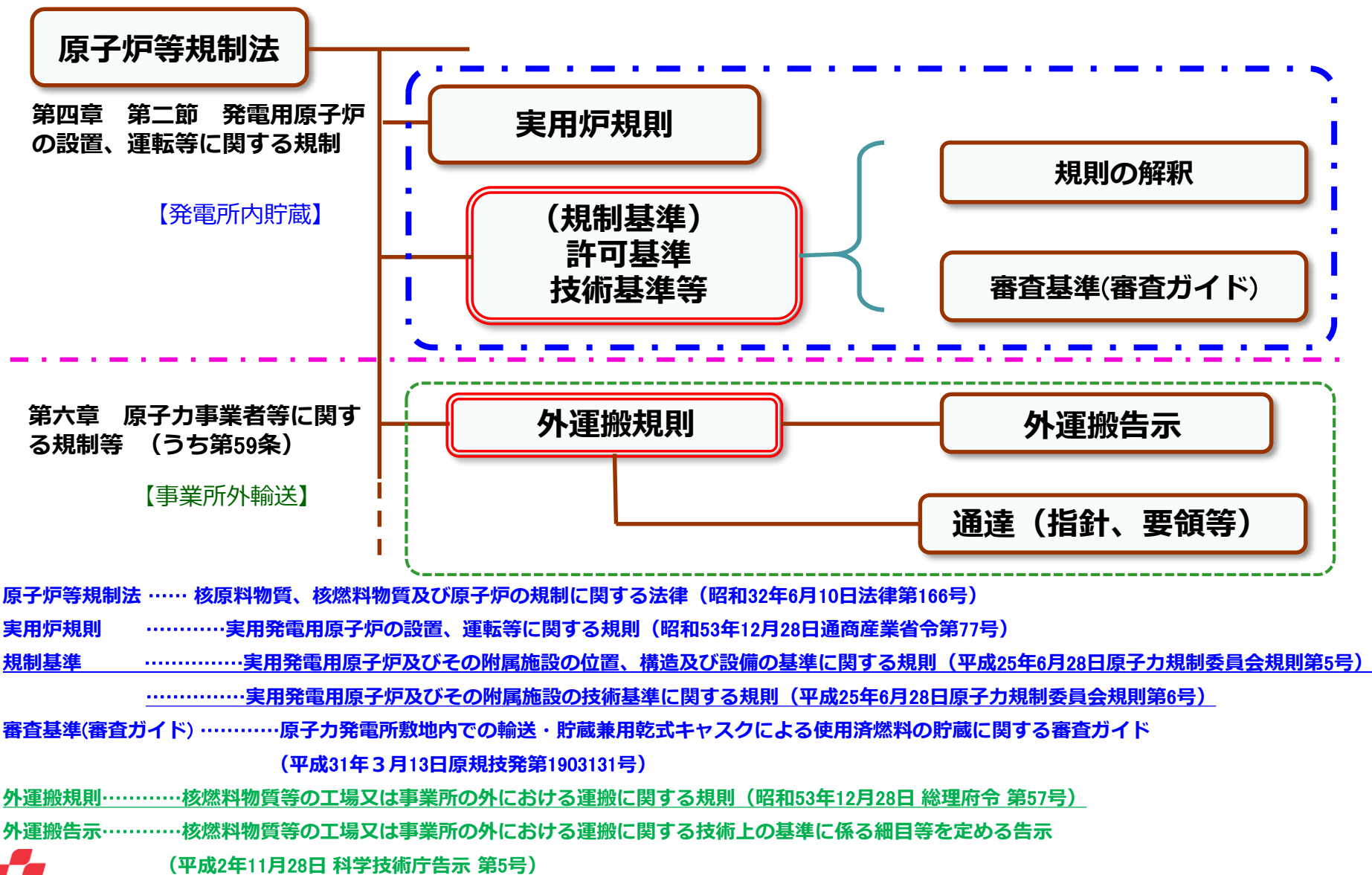
本申請における評価内容と設計承認申請書における評価内容との比較を別紙「乾式キャスク（輸送・貯蔵兼用）の許認可概要」に示す。

乾式キャスク(輸送・貯蔵兼用)の許認可概要 (設置許可・設工認／設計承認の比較について)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので
公開することはできません。

1. 乾式キャスクの許認可体系
2. 乾式キャスクの概要
3. 乾式キャスクの解析比較

1. 乾式キャスクの許認可体系



1. 乾式キャスクの許認可体系

【乾式キャスクの適合性説明の必要な条文】

【発電所内貯蔵】

**(規制基準)
許可基準
技術基準等**

(略)位置、構造及び設備の基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽、閉じ込め)

(略)技術基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第26条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽閉じ込め、構造強度)

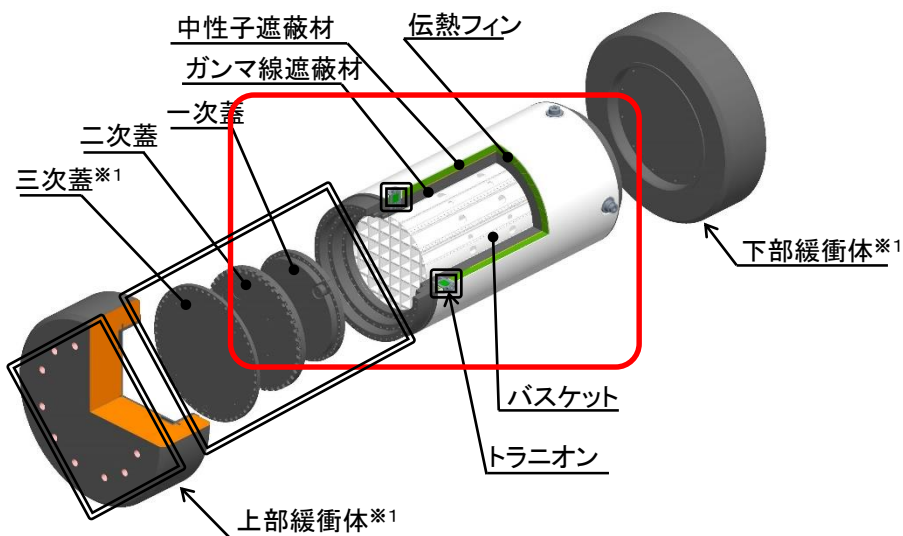
【事業所外輸送】

外運搬規則

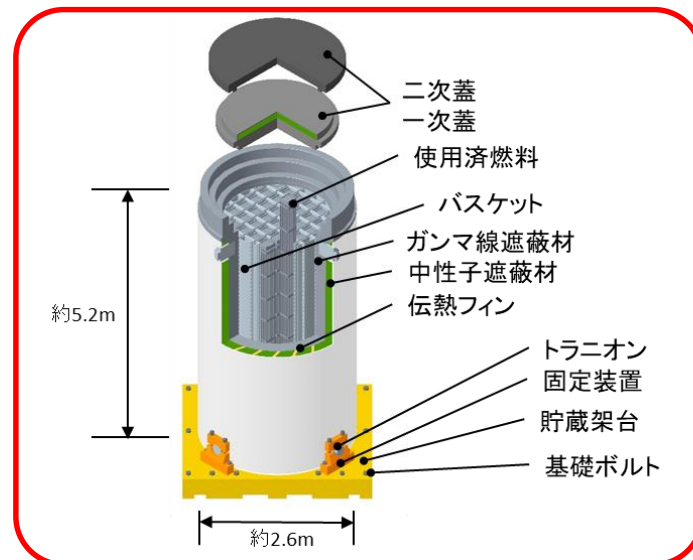
(略)事業所の外における運搬に関する規則		乾式キャスクの適合性
第3条	核燃料輸送物として運搬できる核燃料物質等の運搬	○(核燃料物質の仕様)
第6条	BM型輸送物に係る技術上の基準 (⇒第5条、第4条を引用)	○(遮蔽、閉じ込め、除熱、構造強度)
第11条	核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準	○(未臨界)

2. 乾式キャスクの概要（構成部材）

乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(輸送状態)の例)



乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(貯蔵状態)の例)



乾式キャスク構成部材の材質

	乾式キャスク(タイプ1) 【MSF-32P型】の材質※2	乾式キャスク(タイプ2) 【MSF-24P型】の材質※2
胴	炭素鋼	炭素鋼
外筒	炭素鋼	炭素鋼
中性子遮蔽材	レジン	レジン
一次蓋、二次蓋	炭素鋼	炭素鋼
一次蓋、二次蓋シール	金属ガスケット	金属ガスケット
バスケット構造材	アルミニウム合金および炭素鋼	アルミニウム合金
バスケット中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	ほう素添加アルミニウム合金
三次蓋※1	ステンレス鋼	ステンレス鋼
三次蓋シール※1	ゴムOリング	ゴムOリング
緩衝体※1	ステンレス鋼及び木材	ステンレス鋼及び木材

共通

※1 輸送時のみ装着

※2 乾式キャスク構成部材の長期健全性も含め、共通。

2. 乾式キャスクの概要 (収納条件)

収納条件(乾式キャスク(タイプ1); 14×14型燃料32体収納)

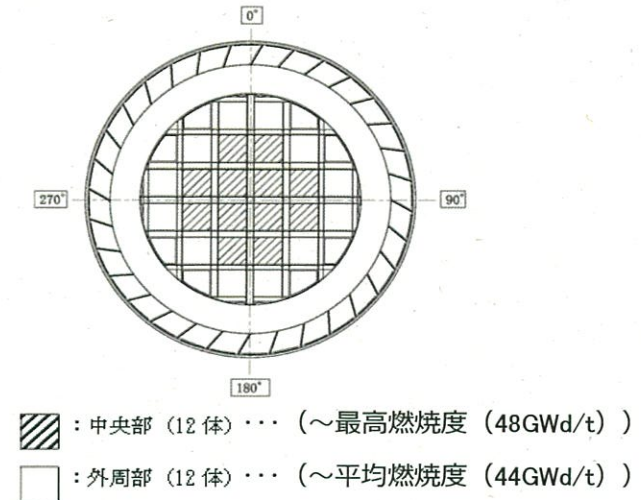
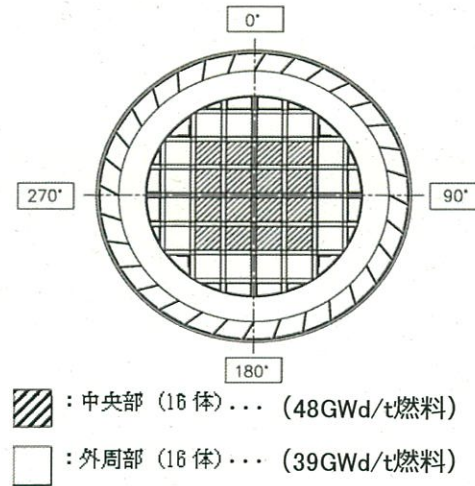
燃料集合体の種類と型式	中央部				外周部	
	14×14燃料※					
	48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		39,000MWd/t型	
燃焼条件	A型	B型	A型	B型	A型	B型
最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	48,000以下		39,000以下		39,000以下	
平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	45,000以下				33,000以下	
冷却日数	5,479日以上				9,131日以上	

収納条件(乾式キャスク(タイプ2); 17×17型燃料24体収納)

燃料集合体の種類と型式		17×17燃料※	
		48,000MWd/t型	
燃焼条件		A型	B型
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000以下
		外周部	44,000以下
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	44,000以下	
	冷却日数	5,479日 ^(注3) 以上	6,209日 以上
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数	5,479日以上	
	冷却日数		

※ 燃料被覆管の長期健全性も含め、共通。

共通

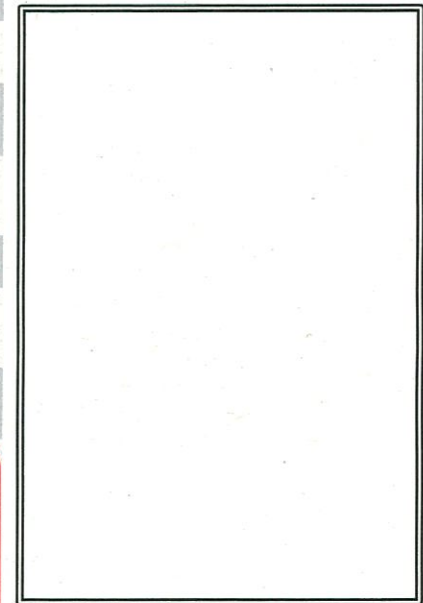


3. 乾式キャスクの解析比較

構造解析 (強度評価)

項目		設計承認における評価内容	設工認における評価内容
解析方法	容器本体 胴 一次蓋 二次蓋 三次蓋 外筒 等	解析コードによる評価 解析コード: ABAQUS (汎用FEM) 解析モデル: 三次元180° 対称モデル ※一部評価式による評価	同左
	バスケット・ ドラニオン	評価式による評価	同左
	貯蔵架台	—	評価式による評価
解析条件 (荷重計算方法)	設計条件	—	設計時 (最高使用圧力)
	供用状態A	輸送時	貯蔵時 吊上げ時
	〃 B	一般の試験条件 (0.3m落下: 解析コードによる評価)	検査架台衝突時 (評価式による評価)
	〃 C	—	—
	〃 D	特別の試験条件 (9m落下: 解析コードによる評価)	—
	その他	200m浸漬	試験時
判定基準		密封部: 変形を弾性域に抑えること その他: 供用状態A,Bにおいて変形を弾性域に抑えること、供用状態Dにおいて安全機能に影響がないこと ＜外運搬規則第4条第2号、第6条第2号、第6条第3号、第11条第2号の規定に基づく各種評価の前提となる輸送物の状態を評価するため、金属キャスク構造規格等の民間規格に基づき設定＞	同左 (供用状態Dは該当なし) ＜技術基準規則第26条の規定に基づく安全機能評価の前提となる乾式キャスクの状態を評価するため、金属キャスク構造規格等の民間規格に基づき設定＞

共通



乾式キャスク (タイプ1)
応力計算解析モデル

3. 乾式キャスクの解析比較

除熱解析

項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容	
	輸送時		特別の試験条件 (火災条件)	貯蔵時	
	最高温度評価	近接表面温度評価			
解析方法	解析コード	ABAQUS(汎用FEM)		同左	
	各部温度	三次元180° 対称全体モデル		同左	
	燃料最高温度	二次元燃料集合体モデル		同左	
解析条件	収納物発熱量	収納対象燃料に軸方向燃焼度分布を考慮したもの 〔16.9kW(タイプ1)〕 〔18.1kW(タイプ2)〕		同左	
	周囲温度	38℃ (太陽光あり)	38℃ (太陽光なし)	800℃×30分 (太陽光あり)	50℃(施設内) (太陽光なし)
	姿勢	横置き		縦置き	
	緩衝体の有無	あり	あり	あり	なし
	緩衝体の変形	なし	なし	あり	—
判定基準	各部の熱的健全性 ＜外運搬規則第5条第4号、第6条第4号、第11条第3号の規定を満足するよう輸送物各部の長期健全性が担保できる温度を基準として設定＞			同左 ＜技術基準規則第26条第2項第6号二の規定を満足するよう長期健全性が担保できる温度を基準として設定＞	
	—	近接可能表面が 85℃以下 ＜外運搬規則第6条第2号ハに規定＞		—	

共通

乾式キャスク (タイプ1)
熱解析モデル (全体モデル)

3. 乾式キャスクの解析比較

閉じ込め解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	一般の試験条件	特別の試験条件	基準漏えい率設定	リークテスト判定基準設定
解析方法	評価対象部位 (密封境界)	三次蓋 ゴムOリング	一次蓋 金属ガスケット	
	評価内容	放射性物質の漏えい量	設計貯蔵期間(60年)中において胴内を負圧に維持するための金属ガスケットの漏えい率	
	解析方法	共通		同左
	評価対象核種	³ H、 ⁸⁵ Kr		-(Heガス)
解析条件	漏えいの経路	三次蓋内部から大気への漏えい	一二次蓋間(圧力一定)から一次蓋内部への漏えい	同左 (基準漏洩率設定の条件に加え、一二次蓋間ガスの全量流入に伴う圧力上昇分を考慮)
	燃料破損率 (胴内圧上昇の考慮条件)	0.1%	100%	0.1%
判定基準	放射性物質漏洩量 A ₂ 値 × 10 ⁻⁶ /h以下 <外運搬規則第6条第2号ロ、 外運搬告示第15条に規定>	放射性物質漏洩量 A ₂ 値/week以下 <外運搬規則第6条第3号ロ、 外運搬告示第17条に規定>	基準漏えい率 > リークテスト判定基準 > 金属ガスケットの性能 <技術基準規則第26条第2項第6号イ、審査ガイド2.4に規定>	

A₂値：核種ごとに、告示で定められる放射エネルギーの制限値

3. 乾式キャスクの解析比較

遮蔽解析

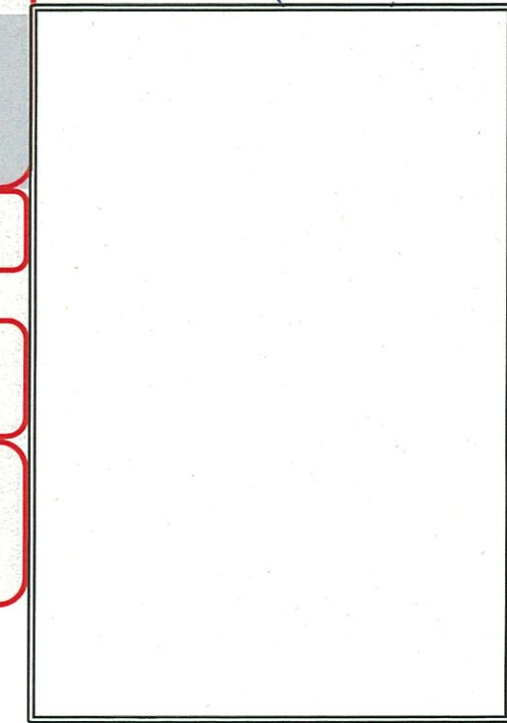
項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容	
	輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	貯蔵時	
解析方法	解析コード	DOT3.5			同左
	解析モデル	(二次元軸対称) ①頭部1/2モデル ②底部1/2モデル ③トラニオン部詳細モデル			同左
解析条件	緩衝体の有無	あり (距離のみ考慮)	あり (距離のみ考慮)	なし	なし
	緩衝体の変形 (中性子遮蔽体)	なし	あり	(全損)	—
判定基準	線量当量率 (mSv/h)	2 (@表面) 0.1 (@1m) <外運搬規則第5条第7号、第5条第8号に規定>	2 (@表面) — <外運搬規則第5条第9号に規定>	— 10 (@1m) <外運搬規則第6条第3号イに規定>	同左 (輸送時) <審査ガイド2.2に規定>

共通

キャスク表面の位置

一般の試験条件

輸送時



乾式キャスク (タイプ1)

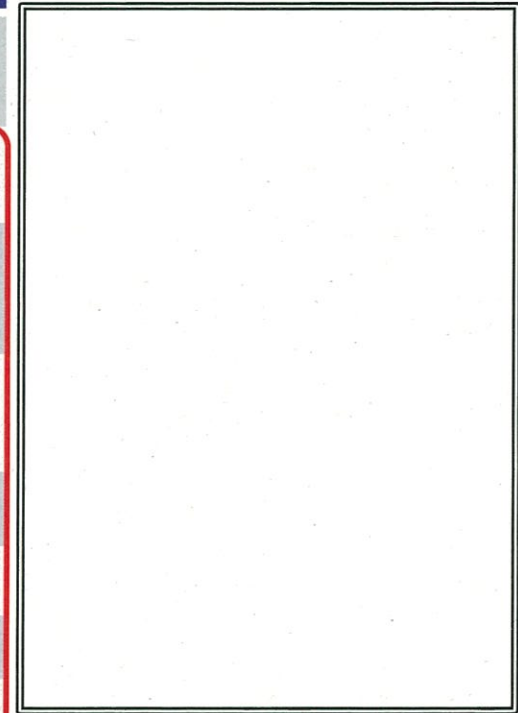
遮蔽解析モデル (頭部モデル)



3. 乾式キャスクの解析比較

臨界解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	特別の試験条件 (輸送時・一般の 試験条件を包絡)	取扱時※1	貯蔵時	取扱時※1
解析方法	解析コード	SCALEコードシステム	同左	共通
	解析モデル	三次元モデル (中性子遮蔽材、緩衝体、三次蓋を 無視)	同左	
解析条件	濃縮度	タイプ1(中央部:U濃縮度 <input type="text"/> %、 外周部:U濃縮度 <input type="text"/> %) タイプ2(U濃縮度 <input type="text"/> %)	同左	
	燃料状態	①健全 ②一部変形考慮	健全	同左(健全のみ)
	内部雰囲気	乾燥※2	冠水	同左(乾燥) 同左(冠水)
	外部境界	無限配列	同左	同左
判定基準	中性子 実効増倍率	≤ 0.95 <外運搬規則第11条第2号の規定を満足する よう文献を基に設定>	同左	<技術基準規則第26条第2号第1号の規 定を満足するよう文献を基に設定>



乾式キャスク (タイプ1)
臨界解析モデル (縦断面図)

- ※1 使用済燃料ピットエリアでの燃料装荷作業等、容器内が水で満たされた状態を想定している。
 ※2 安全側の評価として、15 m 浸漬試験による胴内への5000cm³の浸水を仮定し、この水が均一に分散している条件にて評価している。