

Doc No. FRO-TA-0001/REV. 2

平成 30 年 12 月 3 日

原子力規制委員会 殿

茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役社長 久米 正

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 43 条の 26 の 2 の規定に基づき、下記のとおり使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明の申請をいたします。

記

一 氏名又は名称及び住所並びに代表者の氏名

氏名又は名称 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
住所 茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
代表者の氏名 取締役社長 久米 正

二 特定容器等の種類

金属製の乾式キャスク

三 特定容器等の名称及び型式

HDP-69B(B)型

四 特定容器等の構造及び設備

1. 構造

HDP-69B(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の乾式キャスク(以下「金属キャスク」という。)である。HDP-69B(B)型は、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、金属キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、金属キャスクに収納された使用済燃料を閉じ込める

機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び金属キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「基本的安全機能」という。)を有する構造とする。

HDP-69B(B)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。

イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造

HDP-69B(B)型は、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においても臨界に達することを防止できる構造とする。

ロ. 放射線の遮蔽に関する構造

HDP-69B(B)型は、使用済燃料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できる構造とする。

ハ. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造

HDP-69B(B)型は、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料を収納する空間を不活性雰囲気を保つとともに負圧に維持できる構造とする。また、HDP-69B(B)型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離するとともに、その蓋間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できる設計とする。

ニ. 使用済燃料等の除熱に関する構造

HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる構造とする。

ホ. その他の主要な構造

HDP-69B(B)型は、イからニに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。
- (2) HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び基本的安全機能を有する構成部材の健全性を保つ観点から、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入して貯蔵する設計とする。
- (3) HDP-69B(B)型は、三次蓋を取り付けて輸送できる構造を有する設計とする。
- (4) HDP-69B(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重及び地震荷重等の条件に対し、十分耐え、かつ、基本的安全機能を維持できる設計とする。

- (5) HDP-69B(B)型は、使用済燃料貯蔵施設への搬入、貯蔵及び搬出にかかる金属キャスクの移動の際に想定される金属キャスクの転倒事象、落下事象、及び金属キャスクへの重量物の落下事象に対して、基本的安全機能を維持できる設計とする。

2. 主要な設備及び機器の種類

金属キャスク

種 類	鍛造キャスク(鋼-樹脂遮蔽体タイプ)
全 質 量(使用済燃料を含む。)	約 119 t
寸 法	
全 長	約 5.4 m
外 径	約 2.5 m

3. 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類ごとの最大貯蔵能力

イ. 使用済燃料の種類

BWR 使用済燃料

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

使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。

(1) 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

配置(i)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	40,000 MWd/t 以下
収納する使用済燃料の平均燃焼度	34,000 MWd/t 以下
冷却期間	18 年以上

配置(ii)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	48,000 MWd/t 以下*1
収納する使用済燃料の平均燃焼度	40,000 MWd/t 以下*1
冷却期間	22 年以上*2

*1: 軸方向燃焼度が確認された使用済燃料を収納可能とする。

*2: 収納位置によっては冷却期間 20 年以上の使用済燃料を収納可能とする。

(2) 新型 8×8 燃料のみを収納する場合

配置 (iii)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	34,000 MWd/t 以下
収納する使用済燃料の平均燃焼度	29,000 MWd/t 以下
冷却期間	28 年以上

なお、使用済燃料を HDP-69B(B) 型へ収納するに当たり、使用済燃料の種類、収納する使用済燃料の燃焼度に応じて収納位置が制限される。

ロ. 最大貯蔵能力

金属キャスク 1 基当たりの貯蔵能力

BWR 使用済燃料	69 体
最大崩壊熱量	13.8 kW

五 特定容器等を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件

1. 特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲

以下に示す条件により設計された金属キャスクを使用することができる使用済燃料貯蔵施設であること。

金属キャスクの設計貯蔵期間	60 年以下
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き
金属キャスクの固定方式	下部トラニオン固定
金属キャスクの全質量(使用済燃料を含む。)	約 119 t
金属キャスクの主要寸法	全長 約 5.4 m 外径 約 2.5 m
金属キャスク表面から 1 m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 $^{\circ}$ C 最高温度 45 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.4 G 鉛直方向 0.87 G

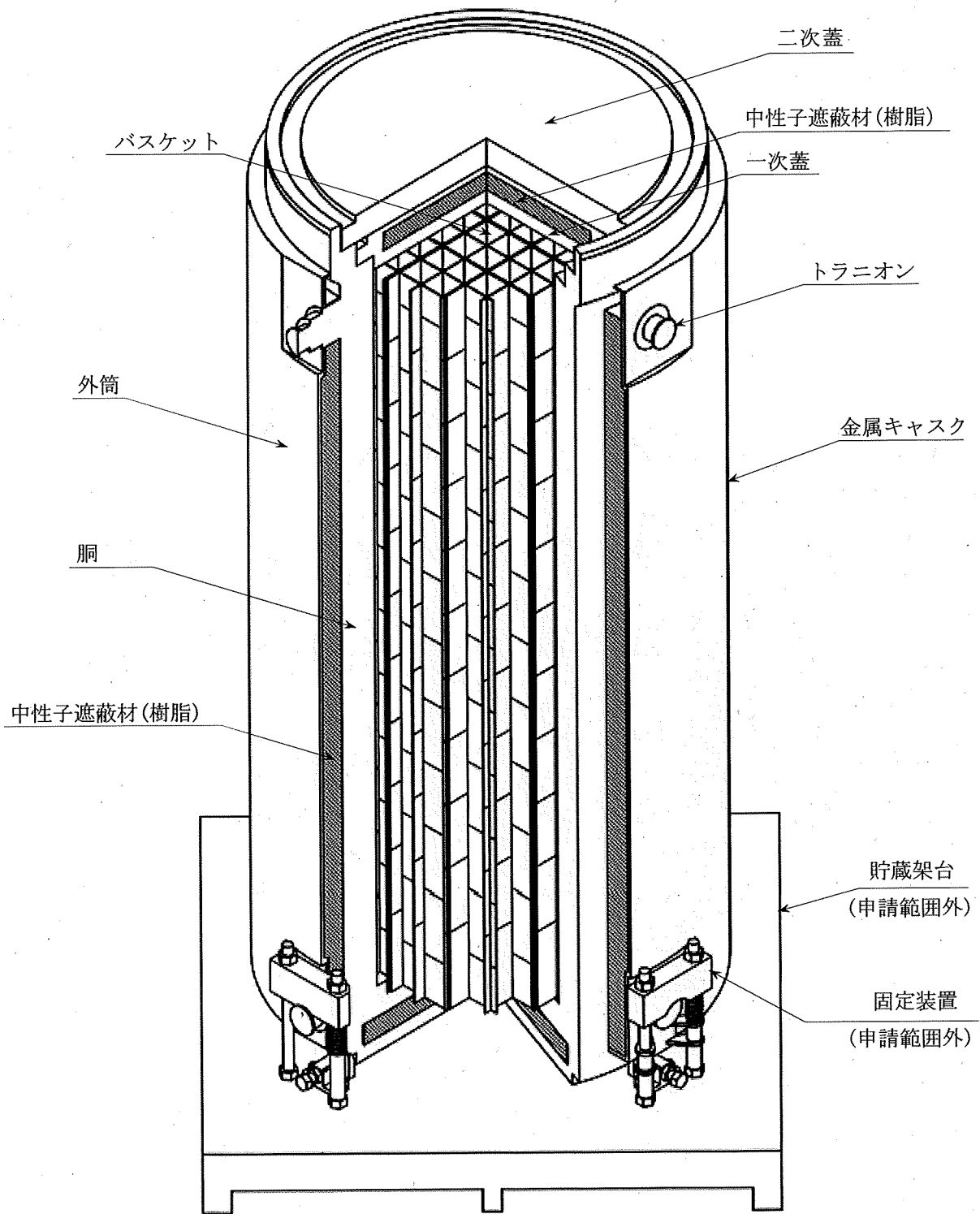
2. 特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の条件

使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に別途確認しなければならない事項等の条件は以下のとおりである。

- イ. HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の反応度が、本申請の臨界防止機能に関する評価で使用した使用済燃料が有する反応度を超えないこと。
- ロ. 使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能に関する評価で使用するエネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率が、HDP-69B(B)型の表面エネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率に対して同等以上であること。
- ハ. HDP-69B(B)型を含めた金属キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、前項に示したそれぞれの最高温度以下であること。
- ニ. HDP-69B(B)型を使用した場合、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台が、前項に示した地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計であること。
- ホ. 火災等、津波及び外部からの衝撃については、使用済燃料貯蔵施設で想定される条件において HDP-69B(B)型の基本的安全機能が損なわれないこと。
- ヘ. 使用済燃料貯蔵施設の設計最大評価事故を選定し、設計最大評価事故が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないこと。

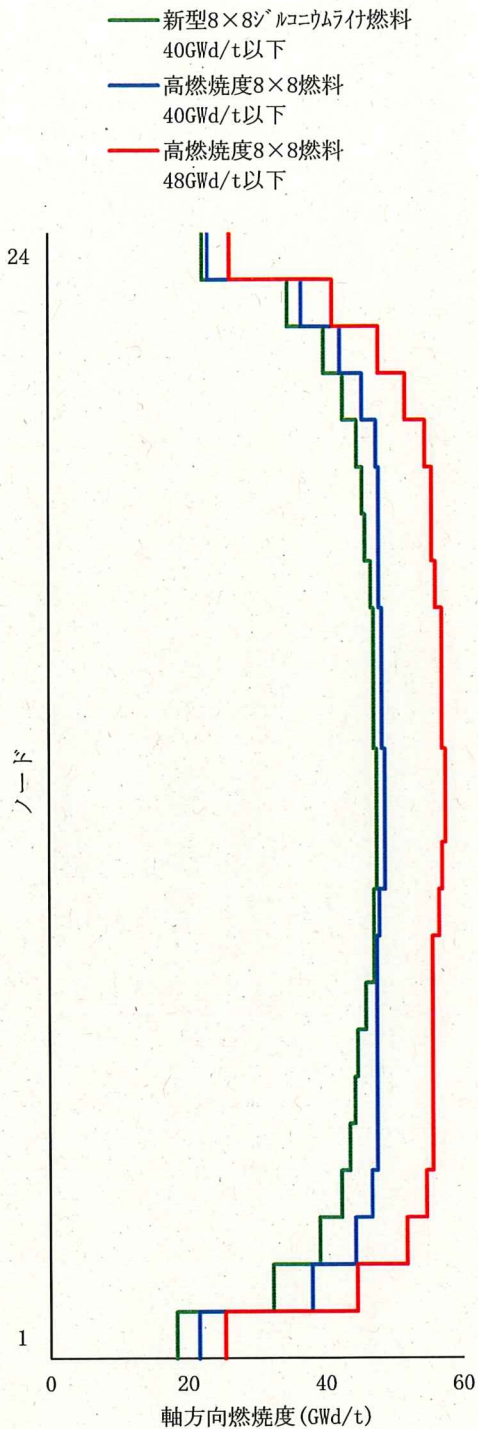
申請書添付参考図目録

- 第1図 HDP-69B(B)型構造図 (添付書類一図 1-1)
- 第2図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度 (添付書類一図 1-2-3)
- 第3図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例
(添付書類一図 1-2-4)
- 第4図 使用済燃料貯蔵施設概要図(例) (添付書類一図 1-3)



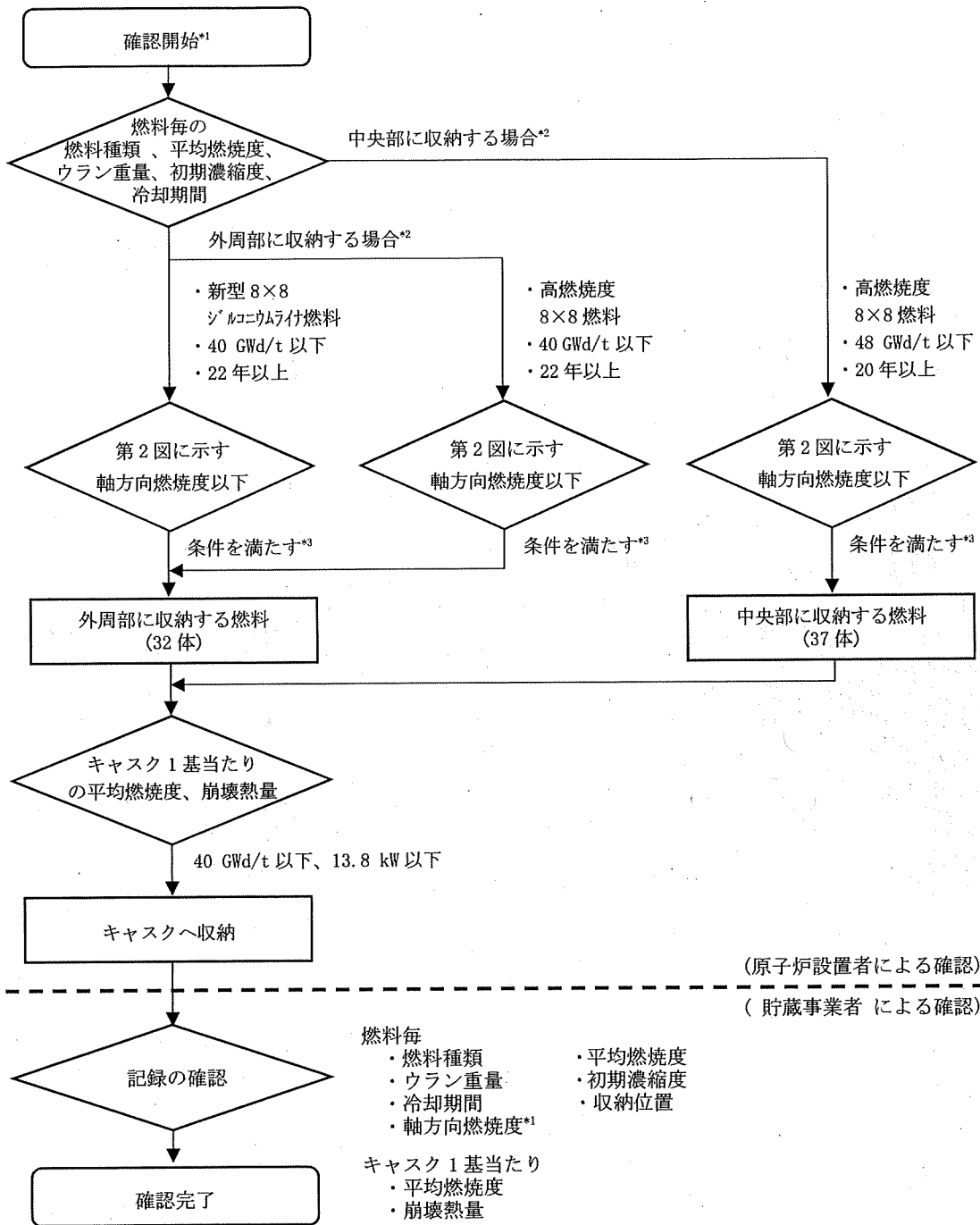
第1図 HDP-69B(B)型構造図

燃料種類		新型 8×8 ジルコニウム ライ付燃料	高燃焼度 8×8 燃料	
燃焼度 (GWd/t)		40	40	48
ノード		軸方向燃焼度*1 (GWd/t)		
(上部)	24	22.40	23.20	26.40
	23	34.80	36.80	41.28
	22	40.00	42.40	48.00
	21	42.80	45.60	51.84
	20	44.80	47.60	54.72
	19	45.60	48.00	55.68
	18	46.00	48.00	55.68
	17	46.80	48.00	56.16
	16	47.20	48.40	57.12
	15	47.20	48.40	57.12
	14	47.20	48.40	57.12
	13	47.60	48.80	57.60
	12	47.60	48.80	57.60
	11	47.60	48.80	57.12
	10	47.20	48.00	56.64
	9	47.20	47.60	55.68
	8	46.00	47.60	55.68
	7	44.80	47.60	55.68
	6	44.40	47.60	55.68
5	43.60	47.60	55.68	
4	42.40	46.80	54.72	
3	39.20	44.40	51.84	
2	32.40	38.00	44.64	
(下部)	1	18.40	21.60	25.44



注記*1：配置(ii)に収納する燃料は軸方向燃焼度が本図の条件に包含されるものであることとする。

第2図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

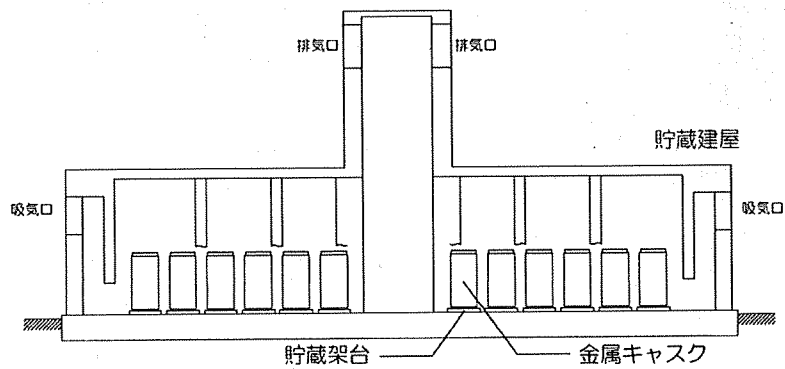
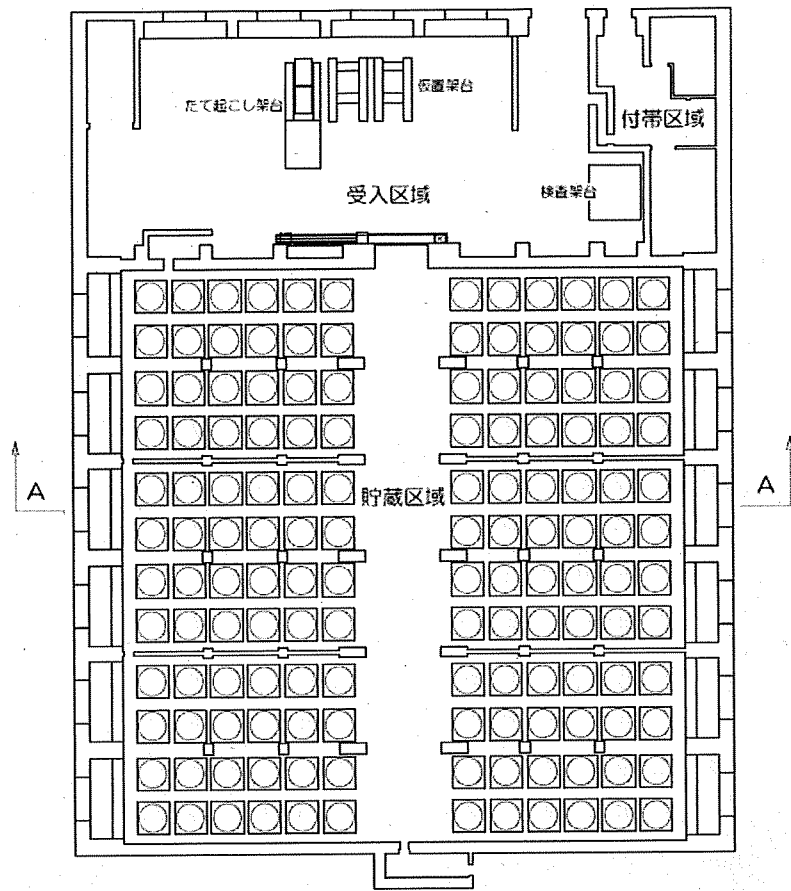


注記 *1：配置 (ii) 以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*2：平均燃焼度が 40 GWd/t 以下の高燃焼度 8×8 燃料は、外周部及び中央部どちらにも収納可能。

*3：上記フローにおいていずれの収納位置条件も満たせない燃料は、配置 (ii) の収納対象外とする。

第3図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例



A-A矢視

第4図 使用済燃料貯蔵施設概要図(例)

添付書類

添付書類目次

今回の申請に係る使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書の添付書類は以下のとおりである。

添付書類一 特定容器等の安全設計に関する説明書

別添 1 に示すとおりである。

添付書類二 特定容器等を使用することにより使用済燃料貯蔵施設に及ぼす影響に関する説明書

別添 2 に示すとおりである。

別添 1

添付書類一 特定容器等の安全設計に関する説明書

目次

1. HDP-69B(B)型の概要	1-1
2. 設計方針及び設計条件	1-3
2.1 設計方針	1-3
2.2 設計条件	1-5
2.3 使用済燃料貯蔵施設の前提条件	1-6
3. 安全設計に関する構造及び評価	1-7
3.1 臨界防止機能	1-7
3.2 遮蔽機能	1-7
3.3 閉じ込め機能	1-8
3.4 除熱機能	1-9
3.5 構造強度	1-10
3.6 長期健全性	1-11
4. 参考文献	1-42

1. HDP-69B(B)型の概要

HDP-69B(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に用いる輸送容器としての機能を併せ持つ金属製の乾式キャスク(以下「金属キャスク」という。)である。

HDP-69B(B)型を用いることにより、使用済燃料貯蔵施設に搬入された後も使用済燃料を別の容器に詰め替えることなく貯蔵を行うことができる。

HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成され、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して床面に固定される。

HDP-69B(B)型の構造及び仕様をそれぞれ図 1-1 及び表 1-1 に示す。

(1) 金属キャスク本体

金属キャスク本体の主要部は、胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

胴は、炭素鋼製であり、密封容器として設計されている。胴と外筒の間には主要な中性子遮蔽材として樹脂が充填されており、また、胴の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。

金属キャスク本体の取扱い及び貯蔵中の固定のために、上部に 2 対のトラニオン、下部に 2 対のトラニオンが取り付けられている。なお、トラニオンは金属キャスク本体にねじ込みにより固定されている。

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。

一次蓋は炭素鋼製の円板状であり、ボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられ、閉じ込め境界が構成される。一次蓋には主要な中性子遮蔽材として樹脂が充填されており、また、一次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。

二次蓋は炭素鋼製の円板状であり、ボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

一次蓋及び二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に金属ガスケットが取り付けられている。

なお、使用済燃料貯蔵施設への搬入時及び使用済燃料貯蔵施設からの搬出時に、三次蓋がボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

(3) バスケット

バスケットは、ステンレス鋼製の板で構成された格子構造であり、胴内面に溝を設けてバスケット格子を設けることで、個々の使用済燃料が金属キャスク本体内部の所定の位置に収納される。

ステンレス鋼(以下「バスケットプレート」という。)には、使用済燃料が臨界に達することを防止するために中性子吸収材が添加されている。

また、伝熱性を向上するために、アルミニウム合金製の板を併せて配置している。

(4) 使用済燃料の仕様及び収納位置条件

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の仕様を表 1-2 に示す。また、HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の収納位置条件を図 1-2-1、図 1-2-2、図 1-2-5 に示す。なお、配置(ii)に関しては、軸方向燃焼度が図 1-2-3 に示す燃焼度を下回ることを貯蔵事業者により確認された使用済燃料を収納可能とする。配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例を、図 1-2-4 に示す。

2. 設計方針及び設計条件

2.1 設計方針

HDP-69B(B)型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、金属キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、金属キャスクに収納された使用済燃料等を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び金属キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「基本的安全機能」という。)を有するように設計する。

また、HDP-69B(B)型は、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。

- ・ 日本工業規格(JIS)
- ・ 日本機械学会規格(JSME)
- ・ 日本原子力学会標準(AESJ)等

2.1.1 臨界防止機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により臨界に達することを防止する設計とする。

また、HDP-69B(B)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び HDP-69B(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、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以下となるように設計する。

バスケットプレートは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。

2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料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、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属製の乾式キャスクであるため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(平成28年10月1日施行)」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。

- ・ 表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。
- ・ 表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間中における HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材の遮蔽機能の低

下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。

2.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。また、HDP-69B(B)型は、一次蓋と二次蓋の間(以下「蓋間」という。)を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間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。

なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

2.1.4 除熱機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び金属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、使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料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するため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限が設けられる。

- ・ 新型 8×8 燃料 200 °C以下⁽¹⁾⁽²⁾
- ・ 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 300 °C以下⁽¹⁾⁽²⁾
- ・ 高燃焼度 8×8 燃料 300 °C以下⁽¹⁾⁽²⁾

また、HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、基本的安全機能を維持する観点から以下の制限を設ける。

- ・ 胴、外筒及び蓋部 350 °C以下⁽³⁾
- ・ 中性子遮蔽材 150 °C以下⁽⁴⁾
- ・ 金属ガスケット 130 °C以下⁽⁶⁾
- ・ バスケットプレート 300 °C以下⁽⁷⁾

2.1.5 構造強度に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮し、(一社)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」⁽³⁾(以下「金属キャスク構造規格」という。)に基づき設計する。また、HDP-69B(B)型は、設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計とする。

2.1.6 長期健全性に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持するように設計する。また、HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入して貯蔵する設計とする。なお、金属キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す。

2.2 設計条件

(1) HDP-69B(B)型の設計条件

HDP-69B(B)型の設計条件は以下のとおりである。

- a. 設計貯蔵期間は60年とする。
- b. 金属キャスクの貯蔵場所は貯蔵建屋内とする。
- c. 金属キャスクの貯蔵姿勢はたて置きとする。
- d. 金属キャスクの固定は、床面に固定された貯蔵架台を介した下部トランシオンによる固定方式とする。
- e. 金属キャスクの全質量(使用済燃料を含む。)は約119 tとする。
- f. 金属キャスクの主要寸法は、全長約5.4 m及び外径約2.5 mとする。
- g. 金属キャスクの最大崩壊熱量は13.8 kW/基とする。
- h. 金属キャスクの表面放射率は0.8とする。
- i. 金属キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ2 mSv/h以下及び100 μ Sv/h以下とする。
- j. 貯蔵区域における金属キャスク周囲の最低温度及び最高温度は、それぞれ-22.4 $^{\circ}$ C及び45 $^{\circ}$ Cとする。
- k. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面最高温度は65 $^{\circ}$ Cとする。
- l. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面放射率は0.8とする。
- m. 貯蔵区域における金属キャスク配列ピッチ寸法は3.5 mとする。
- n. 貯蔵区域における水平方向及び鉛直方向の地震力は、それぞれ1.4 G及び0.87 Gとする。

(2) 使用済燃料の条件

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の条件は以下のとおりである。

- a. 金属キャスクに収納する使用済燃料の仕様は、表1-2に示すとおりとする。
- b. 金属キャスクに収納する使用済燃料は、燃料被覆管の健全性が確認されたものであることとする。
- c. 金属キャスクには、貯蔵する使用済燃料の仕様、及び金属キャスクの最大崩壊

熱量等を満足するように使用済燃料が収納されるとともに、収納位置が制限される。

2.3 使用済燃料貯蔵施設の前提条件

HDP-69B(B)型を使用することができる使用済燃料貯蔵施設概要図(例)を図 1-3 に示す。使用済燃料貯蔵施設は、金属キャスク、金属キャスクを床面で固定するための貯蔵架台、金属キャスクの受入れに使用する設備からなり、各設備は貯蔵建屋に収容される。

貯蔵建屋は、金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域、金属キャスクの搬入及び検査等を行う受入れ区域、及び金属キャスクの蓋間圧力監視装置及び表面温度監視装置等の検出器からの信号を指示、記録する表示装置が収容される付帯区域から構成される。

受入れ区域には、金属キャスクの搬入後及び搬出前の仮置き、金属キャスクの取扱い、移送、検査等を行う天井クレーン、搬送機器等の設備が設けられる。また、受入れ区域には、金属キャスクの仮置きを行う仮置架台、金属キャスクのたて起こしを行うたて起こし架台、万一の金属キャスクたて起こし時に転倒しても基本的安全機能に損傷が生じないように床面に敷設される衝撃吸収材、及び金属キャスクの検査を行う検査架台が装備される。

3. 安全設計に関する構造及び評価

3.1 臨界防止機能

(1) 臨界防止機能に関する構造

HDP-69B(B)型の内部には、格子状のバスケットが設けられており、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためにバスケット格子の構造健全性を保つことで臨界に達することを防止する。また、バスケットプレートとして、中性子吸収材であるほう素を添加したステンレス鋼を使用し、その均質性は、製造中の品質管理(製品分析や金属組織観察等)にて確認する。

(2) 臨界解析

臨界解析フローを図 1-4 に示す。

臨界解析では、HDP-69B(B)型及び燃料集合体の実形状を三次元でモデル化し、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臨界解析コード 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等を考慮して、0.95 以下となることを確認する。

臨界解析に用いる使用済燃料の仕様を表 1-3 に示す。表 1-3 より、最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料を代表とする。臨界解析条件を表 1-4 に示す。使用済燃料には可燃性毒物としてガドリニアを添加した燃料棒が含まれるが、乾燥状態の中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニアの存在を無視する。また、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、濃縮度の異なる 2 種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル(モデルバンドル)を仮定する。これらの使用済燃料を HDP-69B(B)型に 69 体収納した状態を設定し、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して、HDP-69B(B)型が無限に配列している体系とする。さらに、バスケット内の使用済燃料は、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、バスケットプレート板厚、内のり等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材はほう素添加量を下限値とする等、安全裕度を見込むこととする。なお、設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材中のほう素の減損割合は非常に小さいため、これを無視する。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、統計誤差として標準偏差の 3 倍を考慮した中性子実効増倍率は 0.95 以下を満足している。

3.2 遮蔽機能

(1) 遮蔽機能に関する構造

HDP-69B(B)型は、使用済燃料からの放射線を金属キャスク本体及び蓋部により遮

蔽する。ガンマ線遮蔽材には、鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水素を多く含有する樹脂を用いる。

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析フローを図 1-5 に示す。

遮蔽解析では、収納する使用済燃料の種類、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、線量当量率評価に用いる線源強度を求める。

使用済燃料の線源強度計算条件を表 1-6 に示す。線源強度の計算には、使用済燃料平均燃焼度に対する軸方向の燃焼度の比を包含する燃焼度分布(以下「ピーキングファクター」という。)を考慮する。線源強度の計算結果を表 1-7 に示す。

線量当量率の評価は、表 1-7 より、線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置(i)、(ii)を対象として実施する。

線量当量率の評価に当たっては、図 1-2 に示す使用済燃料の燃焼度に応じた収納位置を考慮する。また、設計貯蔵期間中における HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽性能の低下を考慮する。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ 2 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下を満足している。

3.3 閉じ込め機能

(1) 閉じ込め機能に関する構造

HDP-69B(B)型の閉じ込め構造を図 1-6 に、シール部詳細を図 1-7 に示す。

HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体及び蓋部により使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。HDP-69B(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、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、使用済燃料を収納する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。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を収納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、使用済燃料を収納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。さらに、その蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視する。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漏えいすることはない。

(2) 閉じ込め評価

閉じ込め評価フローを図 1-8 に示す。

閉じ込め評価では、設計貯蔵期間中に HDP-69B(B)型内部の負圧を維持できる漏えい率を求める。

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。

HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵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、使用する金属ガスケットが確保可能な閉じ込め機能及び貯蔵開始前の気密漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率(リークテスト判定基準)を上回るものでなければならない。

基準漏えい率を求めるに当たり設定した評価条件を表 1-8 に示す。蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは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として 9.7×10^4 Pa とする。金属キャスク内部空間の圧力の算定に当たっては、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運転中の漏えい燃料発生率(約 0.01%以下)を考慮し、保守的な値として 0.1%とする。

閉じ込め評価の結果、表 1-5 に示すように、金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率以下を満足している。

3.4 除熱機能

(1) 除熱機能に関する構造

HDP-69B(B)型は、使用済燃料から発生する崩壊熱を伝導、対流、ふく射により HDP-69B(B)型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。金属キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低い樹脂が用いられているので、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。

(2) 除熱解析

除熱解析フローを図 1-9 に示す。

除熱解析は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、伝熱解析コード ABAQUS を用いて行う。

除熱解析条件を表 1-9 に示す。使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求めた崩壊熱量、及び図 1-2 に示す使用済燃料の燃焼度に応じた収納位置を入力条件として、燃料被覆管及び基本的安全機

能を維持するうえで重要な構成部材の温度を評価する。燃料被覆管は貯蔵する使用済燃料の種類ごとに定める制限温度以下、構成部材はその健全性に影響を与えない温度となることを確認する。

蓋部及び底部の温度は、軸方向断面の二次元モデル、それ以外の構成部材の温度は径方向断面の二次元モデルで評価し、燃料被覆管の温度は、燃料集合体の径方向断面の二次元モデルで評価する。また、構成部材の温度評価に当たっては、表 1-6 に示す使用済燃料のピーキングファクターを考慮して、最大崩壊熱量を上回る崩壊熱量を設定するとともに、金属キャスク本体底部を断熱条件とし、さらに、燃料被覆管の温度評価に当たっては、軸方向を断熱条件とする等、十分な保守性を見込むこととする。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、燃料被覆管は制限温度を満足している。また、構成部材の温度は、その健全性に影響を与えない温度である。

3.5 構造強度

(1) 構造

HDP-69B(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮して設計するとともに、使用済燃料貯蔵施設内での取扱い時の荷重及び貯蔵中の地震により生じる荷重等を考慮しても構造健全性を維持する設計とする。

HDP-69B(B)型は、貯蔵建屋内においてトランニオンを天井クレーンにより吊り上げて取り扱う。また、貯蔵中はたて置き姿勢であり、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して床面に固定される。

(2) 構造解析

HDP-69B(B)型の各評価部位に対する構造強度解析フローを図 1-10 に示す。

HDP-69B(B)型に発生する応力は、想定される荷重をもとに HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS 及び応力評価式を使用して求める。

使用済燃料貯蔵施設における取扱い時の構造強度評価は、取扱いによって発生する加速度として、HDP-69B(B)型を垂直姿勢で吊り上げる事象を想定し、以下に示す加速度を考慮して行う。

- ・鉛直方向： 1.3 G

地震時の構造強度評価は、たて置き姿勢で貯蔵されている HDP-69B(B)型に対して、地震によって発生する加速度として以下に示す加速度を考慮して行う。

- ・水平方向： 1.4 G
- ・鉛直方向： 0.87 G

また、下部トランニオンの評価条件として、図 1-11 に示すように、4 個の下部トランニオンを介して貯蔵架台に固定されるものとする。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、金属キャスク本体及び蓋部

に発生する応力は、金属キャスク構造規格の各供用状態に定められた許容応力以下である。

3.6 長期健全性

使用済燃料の貯蔵中に構成部材が経年変化する要因としては、放射線照射、熱及び腐食が考えられるため、これらの要因に対する構成部材の設計貯蔵期間における健全性評価を以下に示す。

(1) 金属キャスク本体及び蓋部(金属ガスケットを除く。)の長期健全性

金属キャスク本体及び蓋部(金属ガスケットを除く。)の主要な構成部材は、胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト、トラニオン、中性子遮蔽材及び伝熱フィンである。

(a) 放射線照射による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルトに使用する材料は炭素鋼又はニッケルクロムモリブデン鋼であり、中性子照射量が 10^{16} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽⁵⁾。

ロ. トラニオン

トラニオンに使用する材料はステンレス鋼であり、中性子照射量が 10^{17} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽⁶⁾。

ハ. 中性子遮蔽材

HDP-69B(B)型で用いる中性子遮蔽材の樹脂については、(一財)原子力発電技術機構「平成15年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験)報告書」⁽⁹⁾や樹脂の性能を報告した資料⁽⁴⁾において、 10^4 Gy 程度のガンマ線照射量、又は 10^{15} n/cm² 程度の中性子照射量が、質量減損に影響を与えることはないことが示されており、使用環境はその範囲内である。

ニ. 伝熱フィン

伝熱フィンに使用する材料は銅及び炭素鋼である。伝熱フィンは構造強度部材ではないため、照射による強度変化を考慮する必要はない。なお、銅については中性子照射量が 10^{16} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁰⁾。また、炭素鋼についてはイ、に示すとおりである。

(b) 熱による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルトの温度は 150 °C 以下であり材質変化することはない。また、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)

の1/3に相当する約300℃を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

ロ. トラニオン

トラニオンの温度は150℃以下であり、材質変化することはない。また、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)の1/3に相当する約280℃を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾。

ハ. 中性子遮蔽材

遮蔽解析では、HDP-69B(B)型で用いる中性子遮蔽材の樹脂の性能を報告した資料⁽⁴⁾に基づいて設計貯蔵期間後の熱による樹脂の質量減損量を評価し、質量減損量を考慮した遮蔽計算を行っている。

ニ. 伝熱フィン

構造強度部材ではないため、熱による強度変化を考慮する必要はない。なお、伝熱フィンの温度は135℃以下であり、材質変化することはない。

(c) 腐食による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴内面、一次蓋及び二次蓋内部は、胴内及び蓋間にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されるため、その機能を阻害するような腐食はない。また、外筒外面、二次蓋外面及び蓋ボルトは塗装又はメッキによる防錆措置を施す。なお、胴外面及び外筒内面は、中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水による腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。

ロ. トラニオン

トラニオンは、使用環境を考慮し、必要に応じて防錆措置を施すことで腐食を防止できる。

ハ. 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材は樹脂であり腐食することはない。なお、熱により化学的に経年変化するため、(b)「熱による経年変化」に示すとおり中性子遮蔽材の質量減損量を評価し、質量減損量を考慮した遮蔽計算を行っている。

ニ. 伝熱フィン

伝熱フィンは胴と外筒との間に取り付けられているが、胴外面と外筒内面の炭素鋼が中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水と選択的に結合し腐食することから、銅は腐食することなく伝熱機能への影響を考慮する必要はない。

(2) 金属ガスケットの長期健全性

(a) 放射線照射による経年変化

金属ガスケットに使用する材料はニッケル基合金及びアルミニウムであり、中性子照射量が 10^{17} n/cm²までは顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

(b) 熱による経年変化

(一財)電力中央研究所による試験において、金属ガスケットの塑性変形率と閉じ込め機能の温度・時間依存性は、図 1-12 に示す金属ガスケットに対して図 1-13 から算出される以下の Larson-Miller パラメータ (LMP) により表されることが確認されている⁽¹⁶⁾。

$$\text{LMP} = T \cdot (C + \log(t))$$

ここで、

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

C : LMP の定数 (-)

なお、図 1-13 の塑性変形率 D_p の定義は、図 1-14 に示すとおりである。

上記より、金属ガスケットの長期閉じ込め機能の評価は閉じ込め機能が保持できる限界の LMP を求め、ある温度における限界時間を予測する手法により行うことができる。図 1-15 に示すとおり HDP-69B (B) 型に用いる金属ガスケットについての LMP の定数 $C=20$ における漏えい率と LMP の関係から、初期の閉じ込め機能 (1×10^{-10} Pa・m³/s 以下) を保持できる限界の LMP は、アルミニウム被覆 (ガスケット C) の場合約 11×10^3 である⁽¹⁶⁾。LMP の定数 $C=14$ とした場合の LMP と漏えい率の関係は図 1-16 に示すとおりであり、初期の閉じ込め機能 (1×10^{-10} Pa・m³/s 以下) を保持できる限界の LMP は、約 8.0×10^3 である⁽¹⁷⁾。HDP-69B (B) 型の金属ガスケット部温度は 100 °C 以下であり、設計貯蔵期間である 60 年の条件で求められる LMP は、LMP の定数 $C=14$ 及び 20 において、初期の閉じ込め機能を保持できる限界の LMP を下回る。したがって、金属ガスケットは設計貯蔵期間を通じて健全性を維持できる。

(c) 腐食による経年変化

一次蓋の金属ガスケットはヘリウムガス雰囲気であり腐食を考慮する必要はない。また、二次蓋の金属ガスケットは外側が大気となっているが、使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても金属ガスケットの漏えい率に変化がないことが確認されている⁽¹⁸⁾。

(3) バスケットの長期健全性

バスケットの主要な構成部材は、中性子吸収材を添加したバスケットプレートである。

(a) 放射線照射による経年変化

バスケットプレートに使用する材料はほう素添加ステンレス鋼であり、中性子照射量が 10^{17} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁹⁾。

金属キャスクの燃料部の全中性子束を約 1.1×10^6 n/cm²/s とし、安全側に全中

中性子束を用いて評価すると設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材の減損割合は 10^{-5} 程度であり、劣化は無視し得るレベルである。

伝熱部材に使用する材料はアルミニウム合金であり、中性子照射量が 10^{19} n/cm^2 までは、顕著な機械的物性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁵⁾。

(b) 熱による経年変化

バスケットプレートの温度は $260 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下であり、材質変化することはない。また、構造強度部材であるバスケットプレートについて、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)の $1/3$ に相当する約 $280 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾。

(c) 腐食による経年変化

バスケットプレートが設置される胴内にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気維持されるため、腐食を考慮する必要はない。

表 1-1 HDP-69B(B)型の仕様

項 目		仕 様
全質量(使用済燃料を含む。)(t)		約 119
寸法	全長(m)	約 5.4
	外径(m)	約 2.5
収納体数(体)		69
最大崩壊熱量(kW)		13.8
主要材質	金属キャスク本体	
	胴(ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼
	外筒(ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼
	トランニオン	ステンレス鋼
	中性子遮蔽材 伝熱フィン	樹脂 炭素鋼(銅クラッド鋼)
蓋部 *1		
	一次蓋	炭素鋼
	二次蓋	炭素鋼
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼
	バスケット	ステンレス鋼 (中性子吸収材を添加)
内部充填ガス		ヘリウムガス
シール材		金属ガスケット
閉じ込め監視方式		圧力センサによる蓋間圧力監視

注記*1：使用済燃料貯蔵施設への搬入時、使用済燃料貯蔵施設からの搬出時には、ゴム O リングをシール材とした三次蓋を装着する。

表 1-2 使用済燃料の仕様

項目	仕様			
使用済燃料の種類	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	
集合体幅 (mm)	約 132 又は約 134			
全長 (mm)	約 4,350 又は約 4,470			
質量 (kg)	約 270			
初期濃縮度 (wt%)	約 3.1 以下		約 3.7 以下	
最高燃焼度 *1 (MWd/t)	34,000 以下	40,000 以下	40,000 以下	48,000 以下
最短冷却期間 *2 (年)	28	18	18	20
収納体数 (体)	69			

注記*1：最高燃焼度とは、収納する燃料集合体 1 体の燃焼度の平均値の最大値を示す。

*2：最短冷却期間とは、収納する燃料集合体の最短の冷却期間を示す。

表 1-3 臨界解析に用いる使用済燃料の仕様

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
燃料密度	% 理論密度			
ペレット直径	mm			
燃料有効長	m			
燃料棒配列	-	8×8	8×8	8×8
燃料集合体当たり の燃料棒数	本	62	62	60
初期濃縮度	wt%	3.1	3.1	3.66

表 1-4 臨界解析条件

項 目		乾燥状態	冠水状態
収納物		高燃焼度 8×8 燃料	
濃縮度		3.66 wt%	濃縮度の異なる 2 種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル(モデルバンドル)
収納体数		69 体	
バスケット格子内の燃料配置		中心偏向配置	
寸法条件	バスケットプレート板厚	最小	
	バスケット格子内のり	最小	
中性子吸収材含有率		仕様上の下限値	
HDP-69B(B)型内雰囲気		真空	冠水(水密度 1.0 g/cm ³)
HDP-69B(B)型外雰囲気		真空	
HDP-69B(B)型配列		無限配列(完全反射境界条件)	
チャンネルボックス		なし	あり
中性子遮蔽材(樹脂)		中性子遮蔽材を真空に置換	

表 1-5 HDP-69B(B)型評価結果

項 目		評価結果	設計基準値
臨 界 防 止	中性子 実効増倍率	乾燥状態	0.41
		冠水状態	0.89
遮 蔽	表面最大線量当量率(mSv/h)		2
	表面から1 m離れた位置 における最大線量当量率(μ Sv/h)		100
閉 じ 込 め	金属ガスケットの漏えい率(Pa \cdot m ³ /s)		$2.4 \times 10^{-6}^{*1}$
除 熱	燃料被覆管 最高温度 ($^{\circ}$ C)	新型 8 \times 8 燃料	196
		新型 8 \times 8 ジルコニウム ライナ燃料、 高燃焼度 8 \times 8 燃料	262
	金属キャスク 構成部材 最高温度 ($^{\circ}$ C)	胴、外筒、蓋部	142
		中性子遮蔽材 (樹脂)	128
		金属ガスケット	90
		バスケット格子	251
構 造 強 度	取扱い時 (MPa)	蓋部の応力強さ	60 以下
		一次蓋ボルトの応力	360 以下
		上部トラニオンの 応力強さ	220 以下
	地震時 (MPa)	下部トラニオンの 応力強さ	260 以下

注記*1：設計貯蔵期間中に金属キャスク本体内部の負圧が維持できる漏えい率(標準状態)を示す。

表 1-6 使用済燃料の線源強度計算条件(1/2)

燃料種類		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 燃料	
使用済燃料の 収納配置条件		配置 (i)				配置 (iii)	
燃焼度 (MWd/t)		34000	40000	34000	40000	29000	34000
比出力 (MW/t)		25.3	同左	26.2	同左	25.3	同左
照射 期間 (日)	燃料集合体	1344	1582	1298	1527	1147	1344
	チャンネル ボックス						
濃縮度 (wt%)		2.88	同左	3.35	同左	2.88	同左
冷却期間 (年)		18	同左	18	同左	28	同左
ウラン重量 (kg)		177	同左	174	同左	177	同左
ピーキング ファクター *1							
(上部)							
(下部)							

注記*1: ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

表 1-6 使用済燃料の線源強度計算条件(2/2)

燃料種類		新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8 燃料	
使用済燃料の 収納配置条件		配置(ii)		
燃焼度(MWd/t)		40000	40000	48000
比出力(MW/t)		25.3	26.2	同左
照射 期間(日)	燃料集合体	1582	1527	1833
	チャンネルボックス			
濃縮度(wt%)		2.88	3.35	同左
冷却期間(年)		22	22	20
ウラン重量(kg)		177	174	同左
ピーキングファクター*1				
(上部)				
(下部)				

注記*1: ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

表 1-7 金属キヤスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度

使用済燃料の種類	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		新型 8×8 燃料
使用済燃料の 収納配置条件	配置 (i)	配置 (ii)	配置 (iii)
濃縮度 (wt%)	2.88 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) 3.35 (高燃焼度 8×8 燃料)		
燃焼度 (MWd/t)	外周部	40,000	29,000
	中央部	40,000	34,000
冷却年数(年)	18	22 (外周) 20 (中央)	28
使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	6.0×10^{16}
使用済燃料構造材の 放射化によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq)	1.3×10^{14}	1.1×10^{14}	3.1×10^{13}
使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度 (n/s) *1	1.4×10^{10}	1.5×10^{10}	5.0×10^9

注記*1: 中性子実効増倍率の効果を考慮した値である。

表 1-8 閉じ込め評価条件

項 目		評価条件
圧力 (Pa[abs])	金属キャスク内部(初期)	8.0×10^4
	蓋間空間(初期)	4.1×10^5
	大気圧	9.7×10^4 *1
空間 容積(m ³)	金属キャスク内部 *2	
	蓋間空間	
温度(°C)	金属キャスク内部 *3	262
	漏えい気体 *4	-22.4
内部気体		ヘリウム
設計貯蔵期間(年)		60

注記*1: 収納された使用済燃料の破損率(0.1%)による圧力上昇分を別途考慮する。

*2: 金属キャスク内部の全空間容積から燃料集合体及びバスケットの容積を除いた空間容積を示す。

*3: 燃料集合体最高温度を保守的に設定した値を示す。

*4: 金属キャスク周囲最低温度を示す。

表 1-9 除熱解析条件

項 目		解析条件
燃料集合体の ピーキングファクター		表 1-6 に示すピーキングファクターを考慮
燃料集合体の収納位置		図 1-2 に示す収納位置ごとの崩壊熱量を設定
境界条件	周囲温度(°C)	45
	貯蔵建屋壁面温度(°C)	65
	貯蔵建屋壁面放射率	0.8
	金属キャスク表面放射率	0.8
	金属キャスク表面から貯蔵 建屋壁面への形態係数	0.232 ^{*1}

注記*1：金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値を示す。

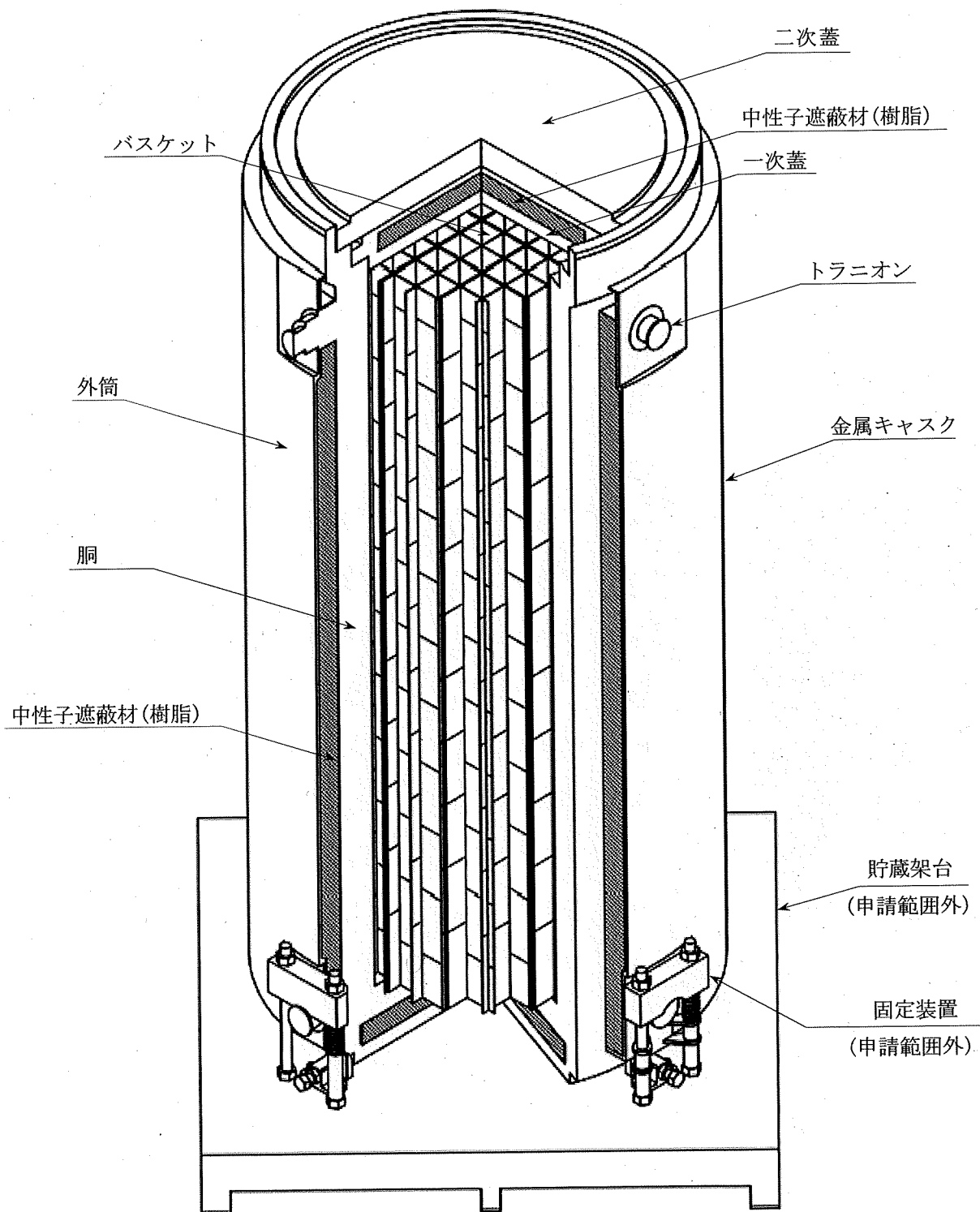
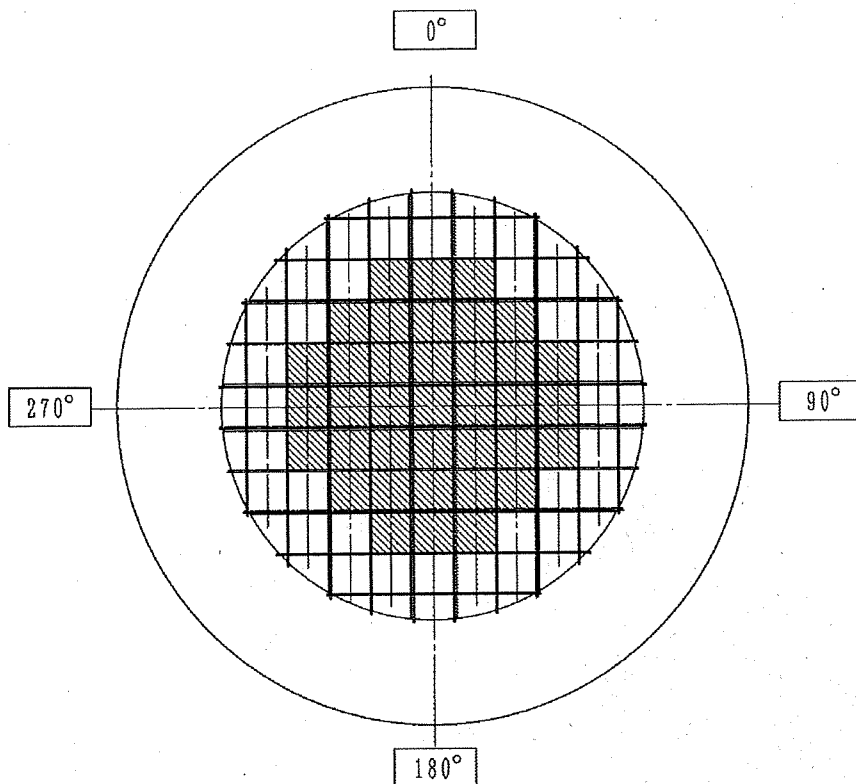


図 1-1 HDP-69B(B)型構造図

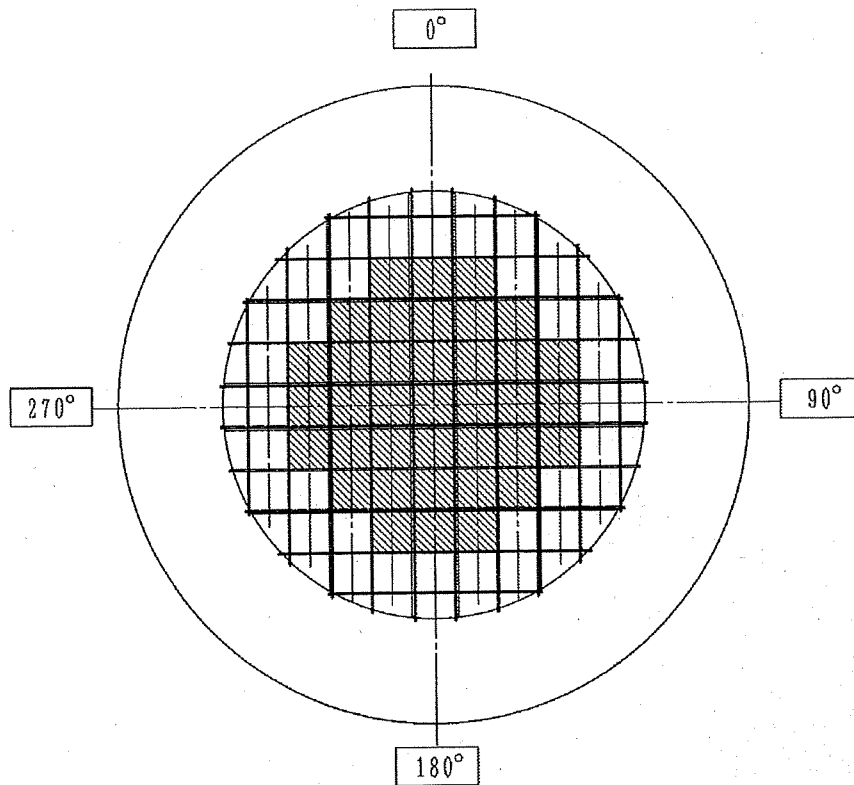


- | | | |
|---|------|-------------------------------|
| □ | 燃料種類 | : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料 |
| | 収納体数 | : 32体 |
| | 燃焼度 | : 34,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 18年以上 |
| | | |
| ▨ | 燃料種類 | : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料 |
| | 収納体数 | : 37体 |
| | 燃焼度 | : 40,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 18年以上 |

キャスク1基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下

キャスク1基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW 以下

図1-2-1 使用済燃料の収納位置条件(配置(i))
(新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料を混載収納する場合)



燃料種類 : 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
 収納体数 : 32体
 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 22年以上

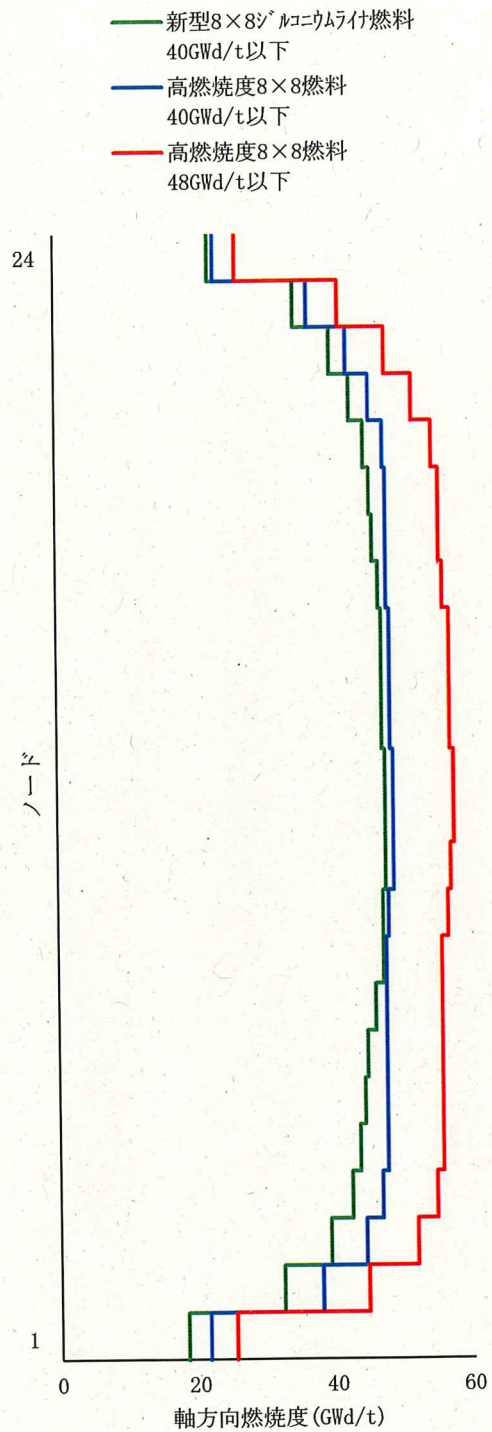
燃料種類 : 高燃焼度8×8燃料
 収納体数 : 37体
 燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 20年以上

キャスク1基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下

キャスク1基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

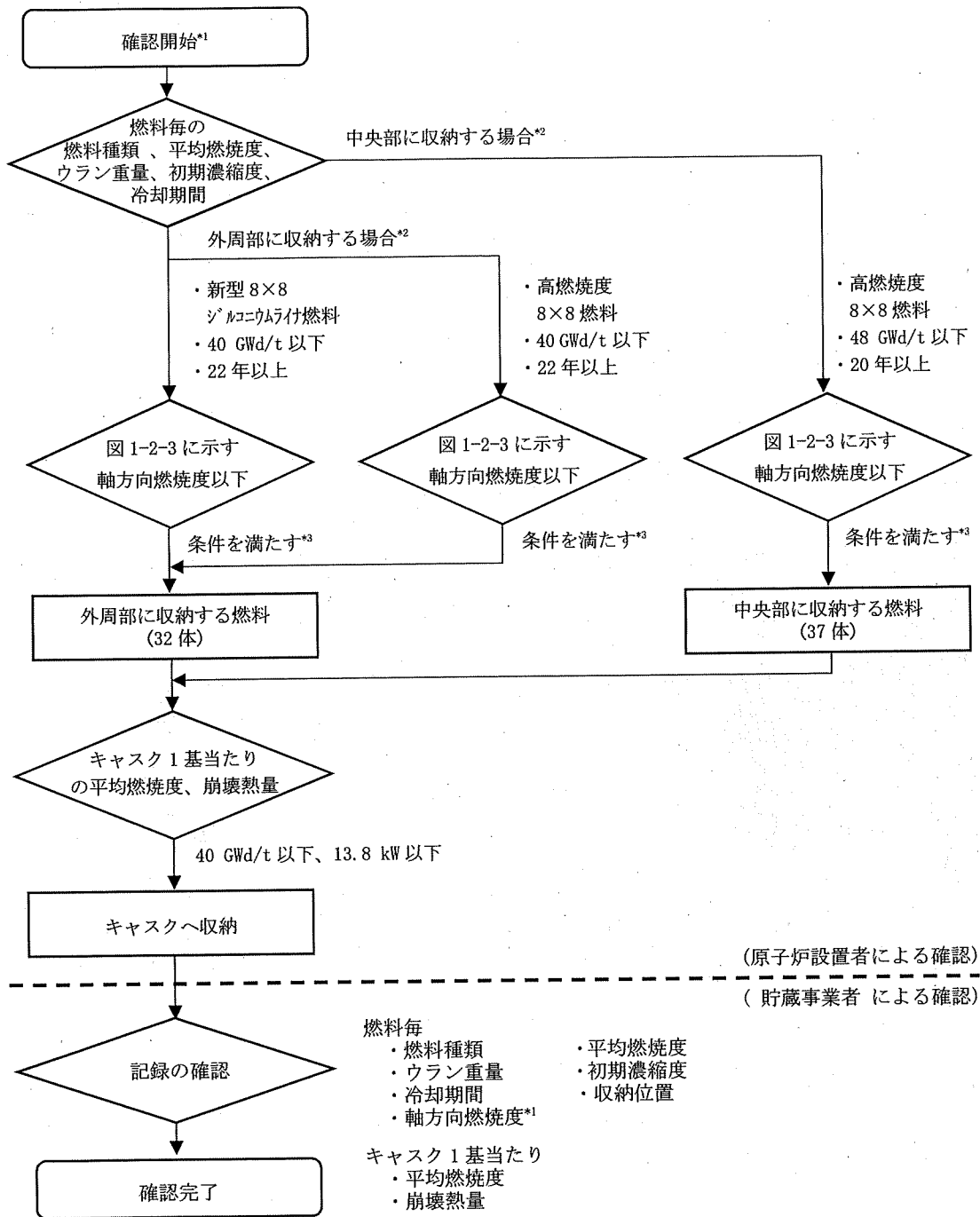
図1-2-2 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))
 (新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料を混載収納する場合)

燃料種類		新型 8×8 ジリコウム ライ燃料	高燃焼度 8×8 燃料	
燃焼度 (Gwd/t)		40	40	48
ノード		軸方向燃焼度*1 (Gwd/t)		
(上部)	24	22.40	23.20	26.40
	23	34.80	36.80	41.28
	22	40.00	42.40	48.00
	21	42.80	45.60	51.84
	20	44.80	47.60	54.72
	19	45.60	48.00	55.68
	18	46.00	48.00	55.68
	17	46.80	48.00	56.16
	16	47.20	48.40	57.12
	15	47.20	48.40	57.12
	14	47.20	48.40	57.12
	13	47.60	48.80	57.60
	12	47.60	48.80	57.60
	11	47.60	48.80	57.12
	10	47.20	48.00	56.64
	9	47.20	47.60	55.68
	8	46.00	47.60	55.68
	7	44.80	47.60	55.68
	6	44.40	47.60	55.68
	5	43.60	47.60	55.68
4	42.40	46.80	54.72	
3	39.20	44.40	51.84	
2	32.40	38.00	44.64	
(下部)	1	18.40	21.60	25.44



注記*1：配置(ii)に収納する燃料は軸方向燃焼度が本図の条件に包含されるものであることとする。

図 1-2-3 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

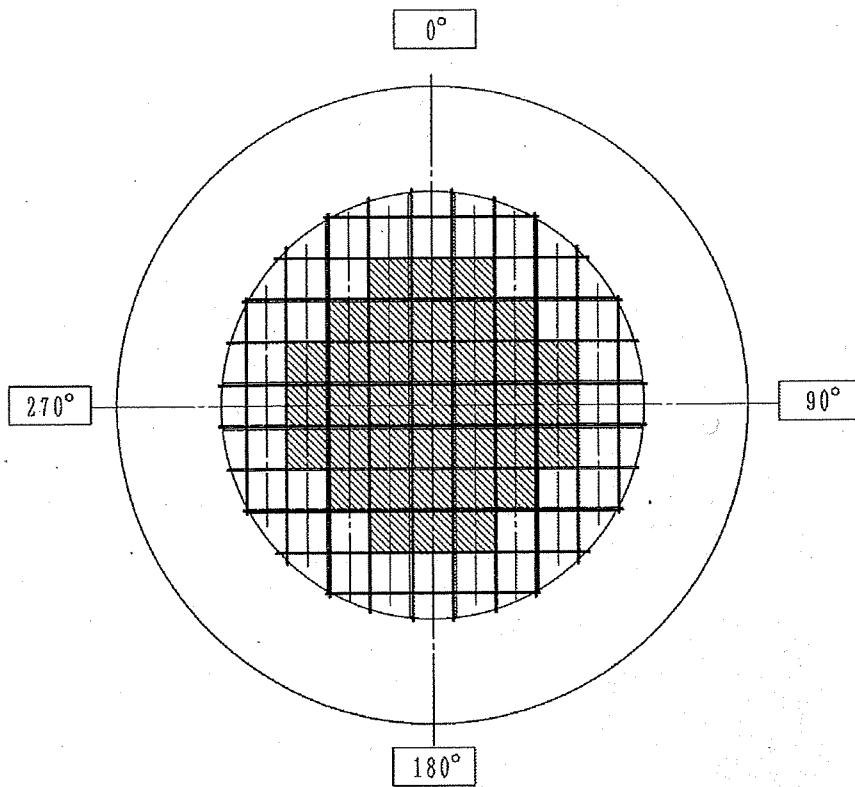


注記 *1: 配置(ii)以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*2: 平均燃焼度が40 GWd/t以下の高燃焼度8×8燃料は、外周部及び中央部どちらにも収納可能。

*3: 上記フローにおいていずれの収納位置条件も満たせない燃料は、配置(ii)の収納対象外とする。

図1-2-4 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例



燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下

キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW 以下

図 1-2-5 使用済燃料の収納位置条件 (配置 (iii))
 (新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

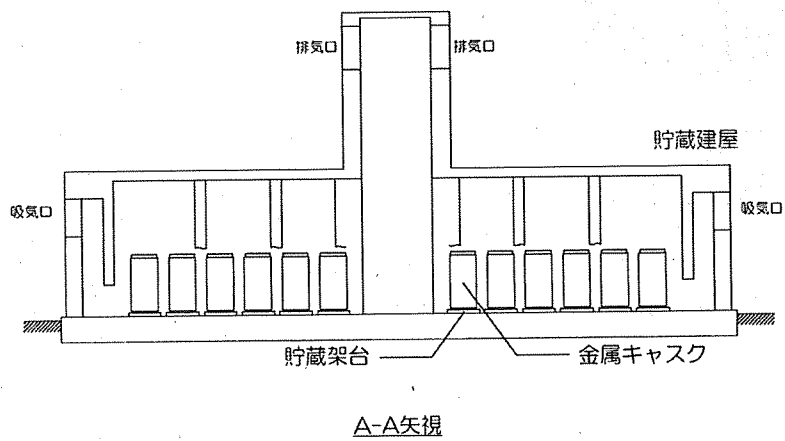
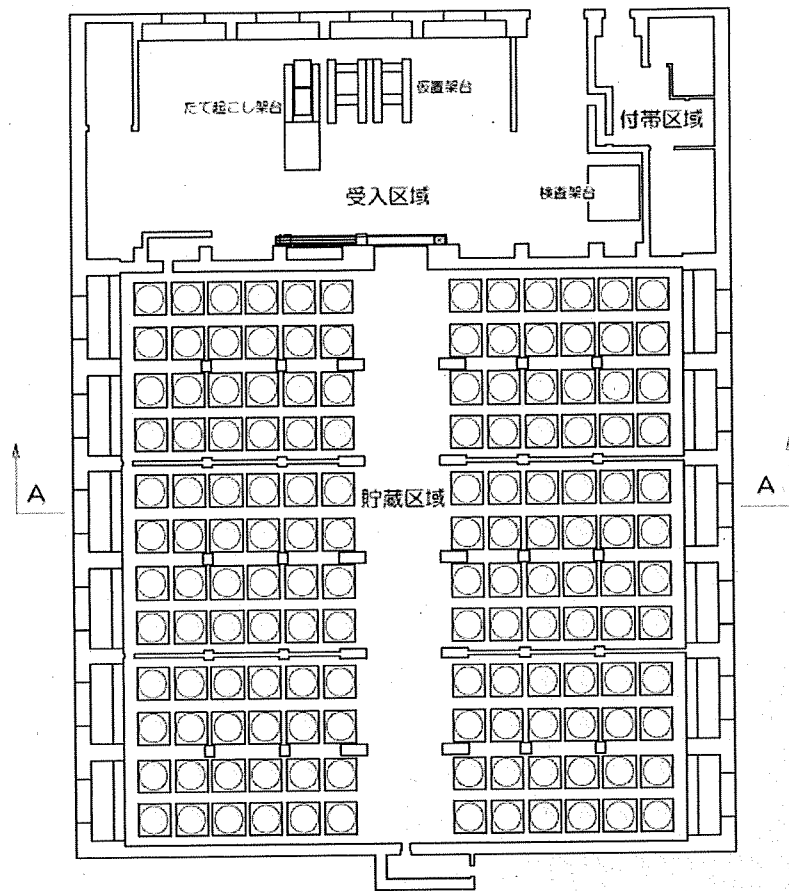


図 1-3 使用済燃料貯蔵施設概要図(例)

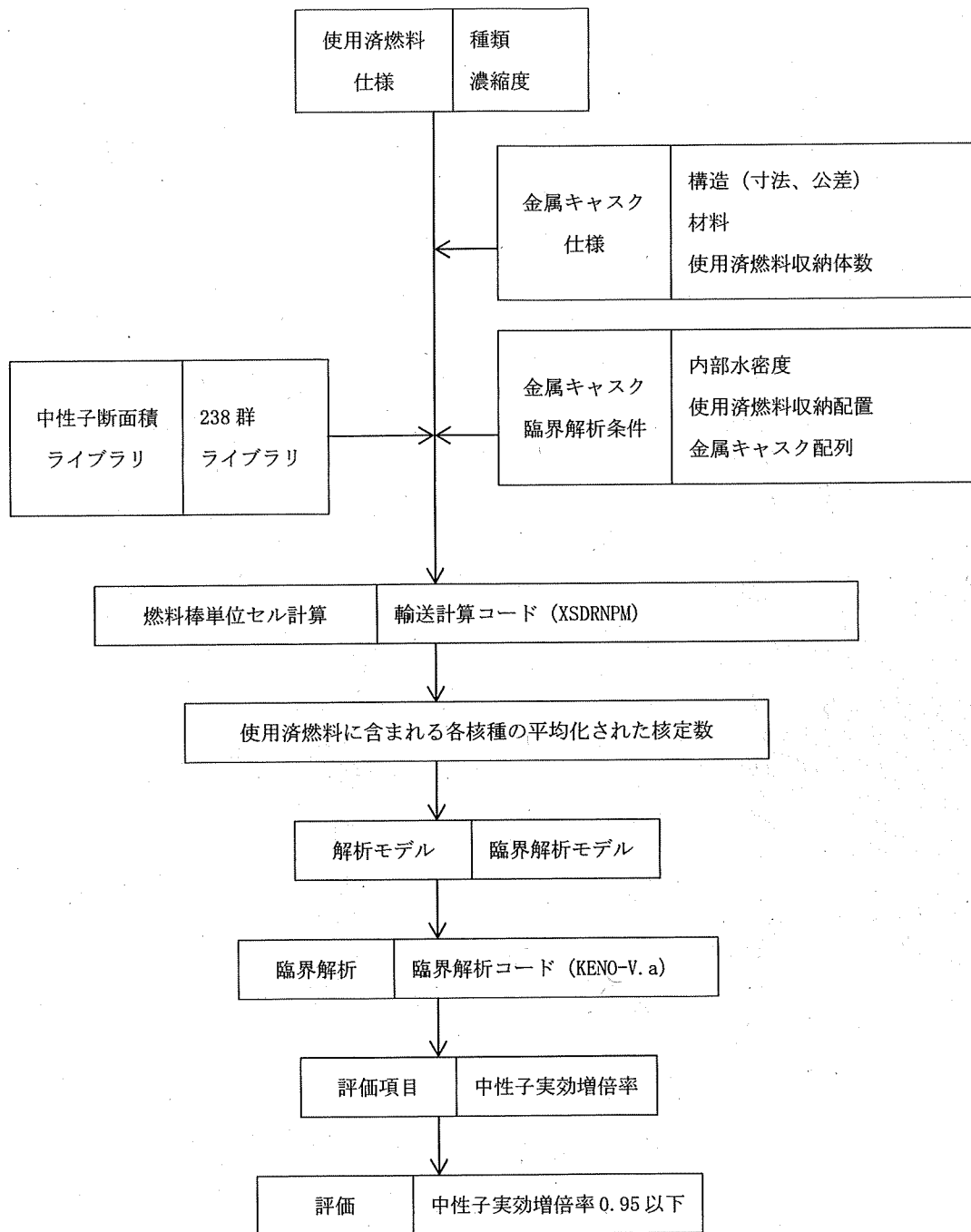


図 1-4 臨界解析フロー図

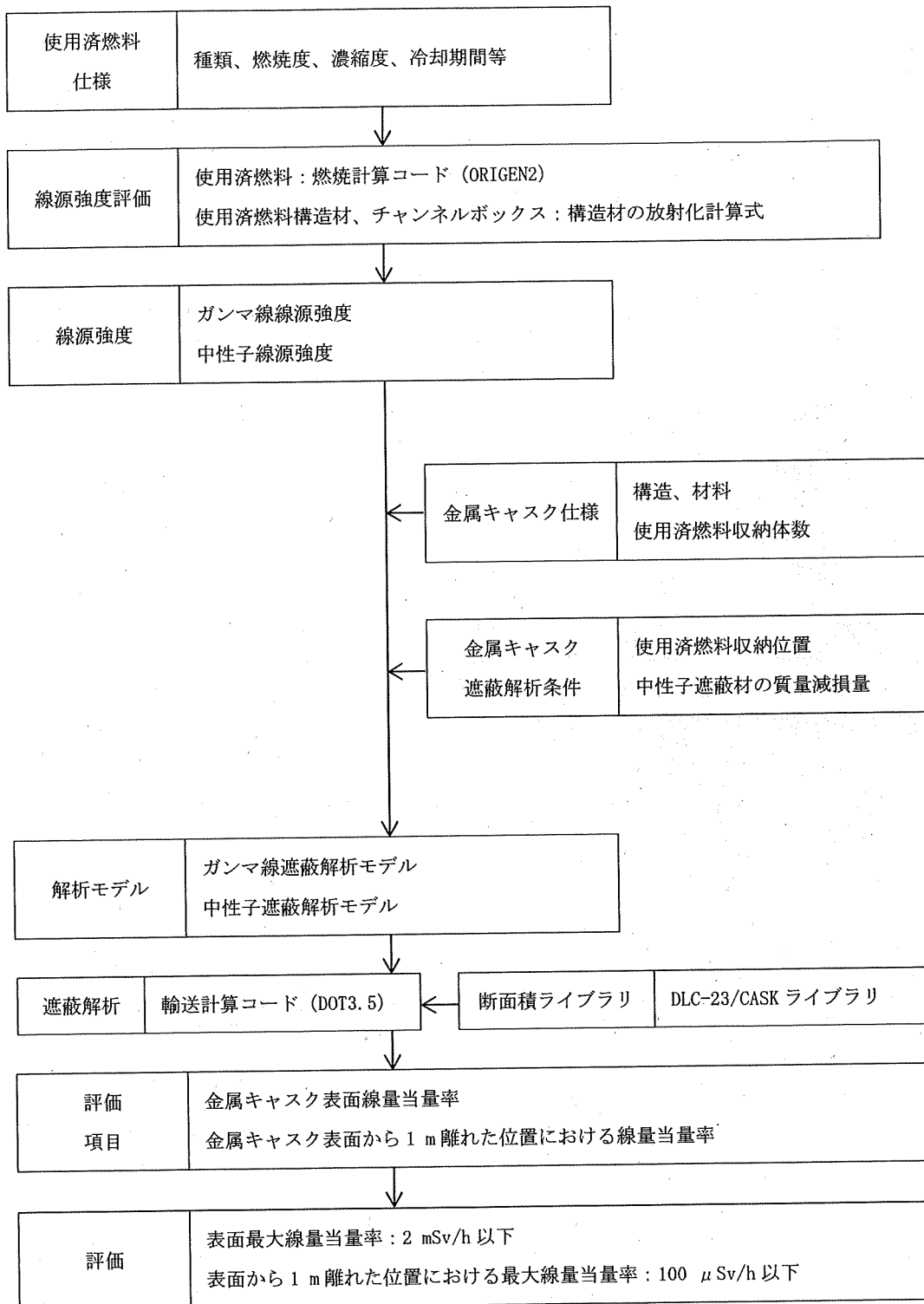


図 1-5 遮蔽解析フロー図

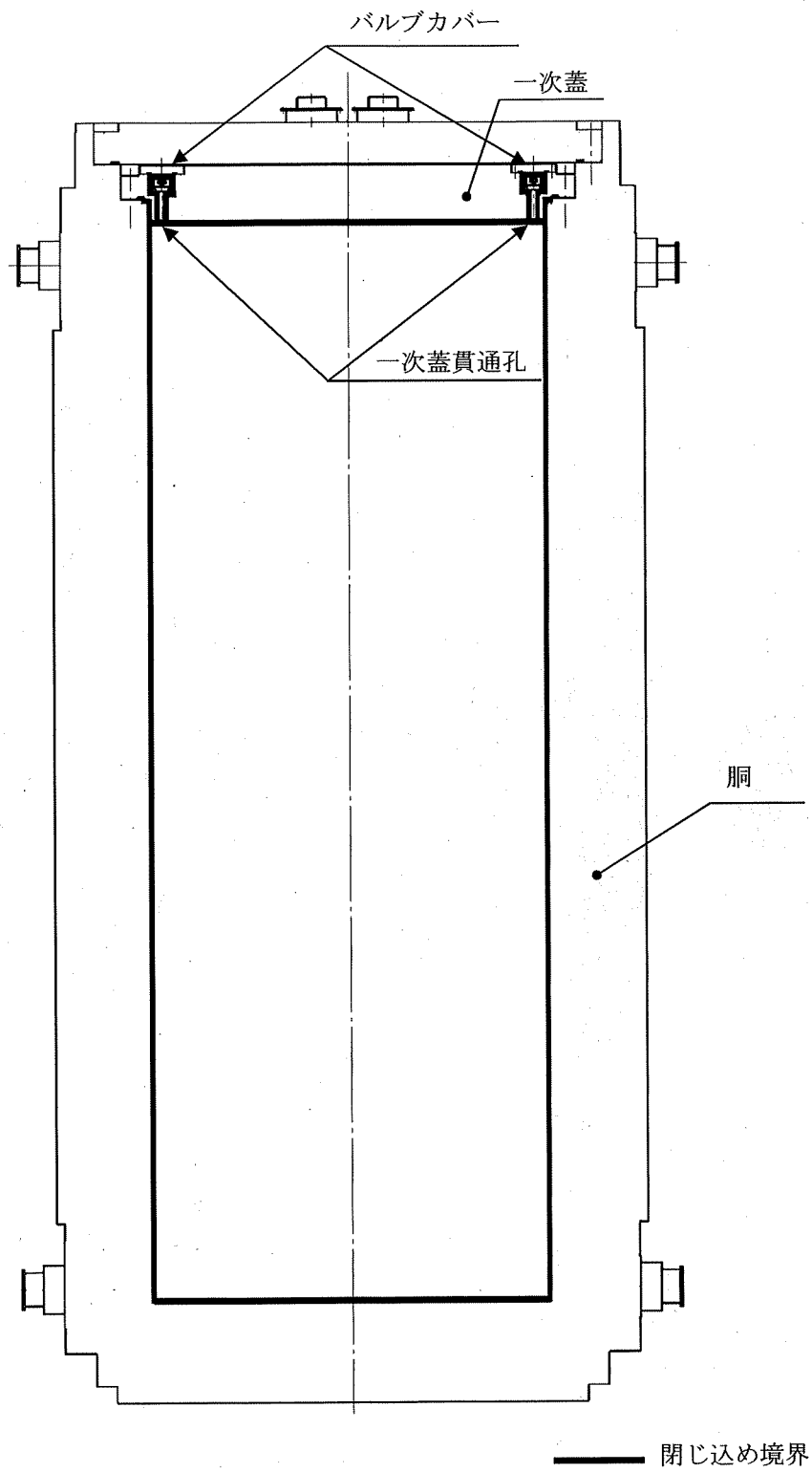
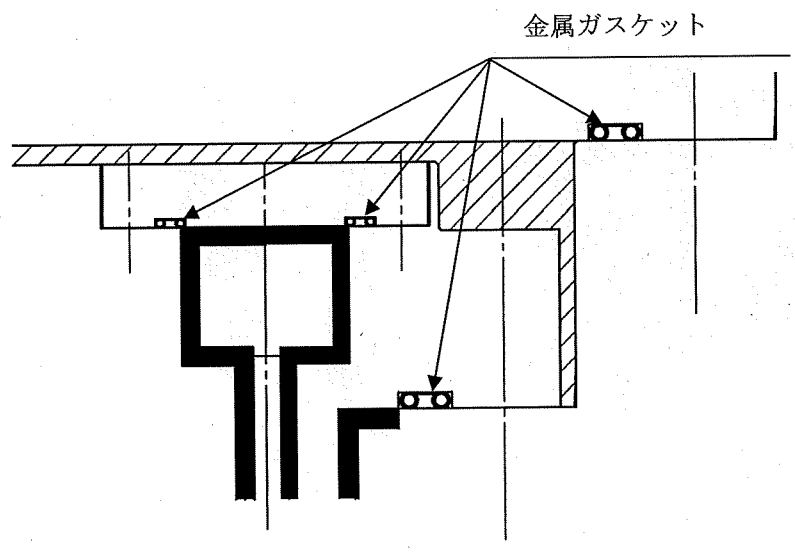
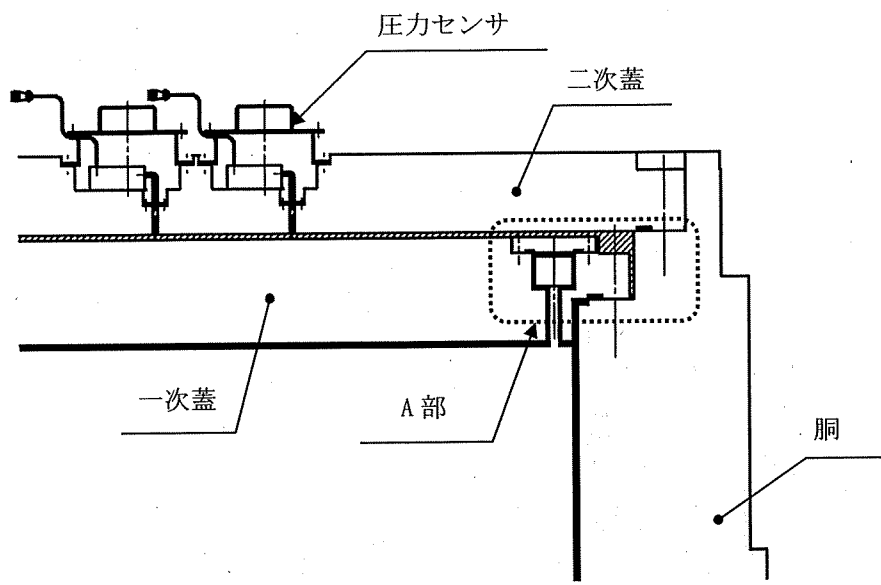


図 1-6 HDP-69B(B)型の閉じ込め構造



- 閉じ込め境界(負圧)
- ▨ 閉じ込め監視圧力境界(正圧)

図 1-7 HDP-69B(B)型のシール部詳細

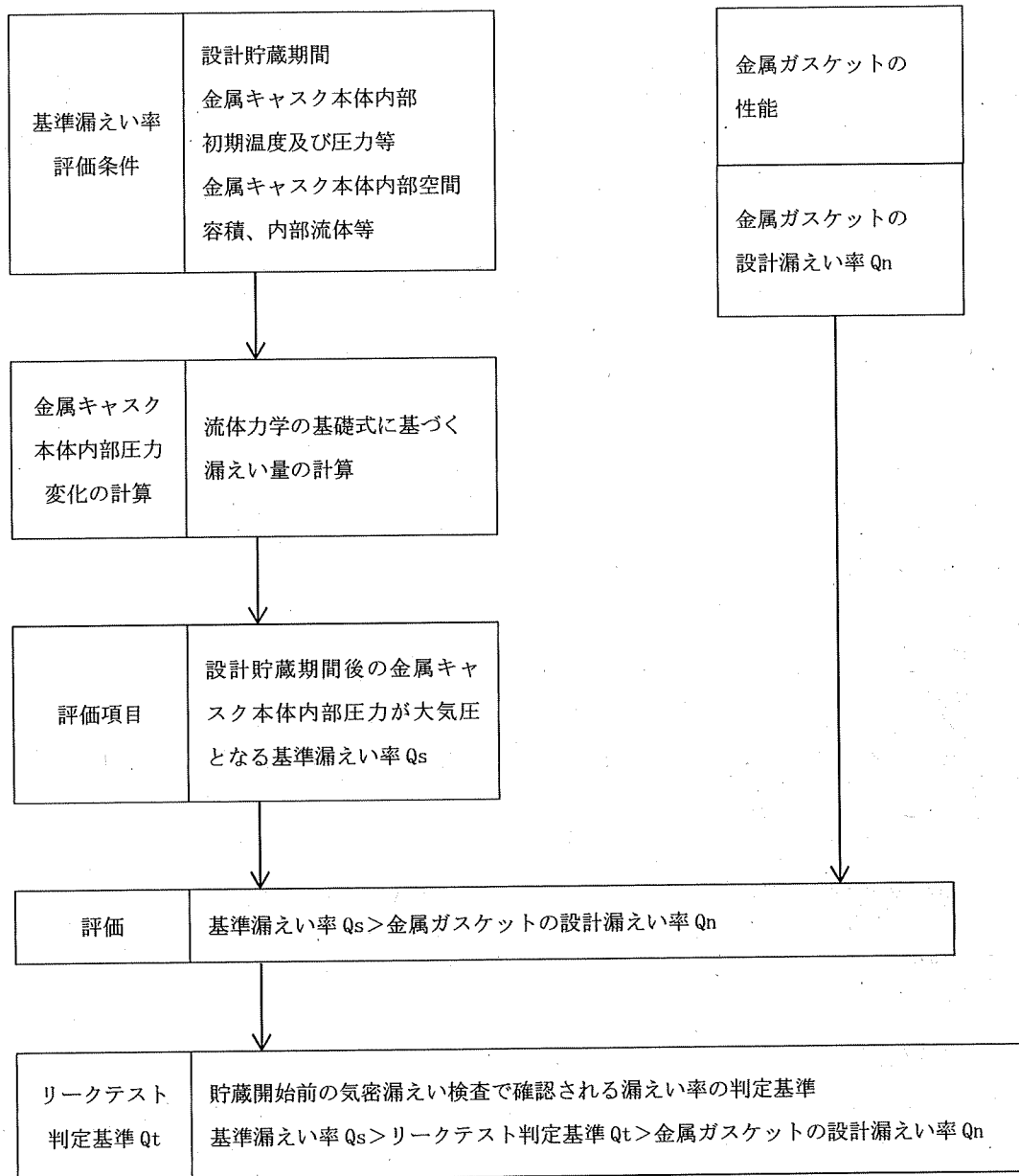


図 1-8 閉じ込め評価フロー図

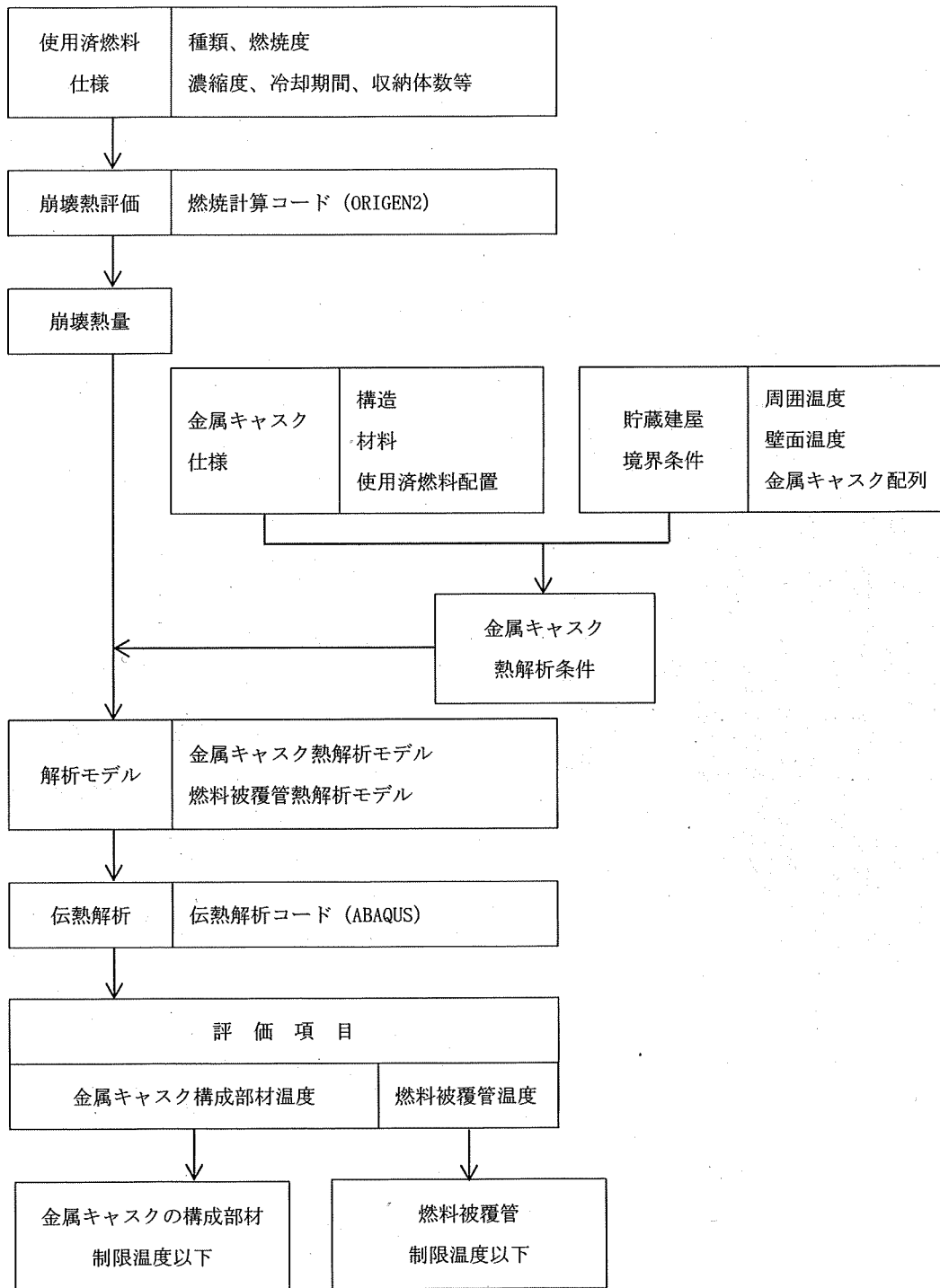
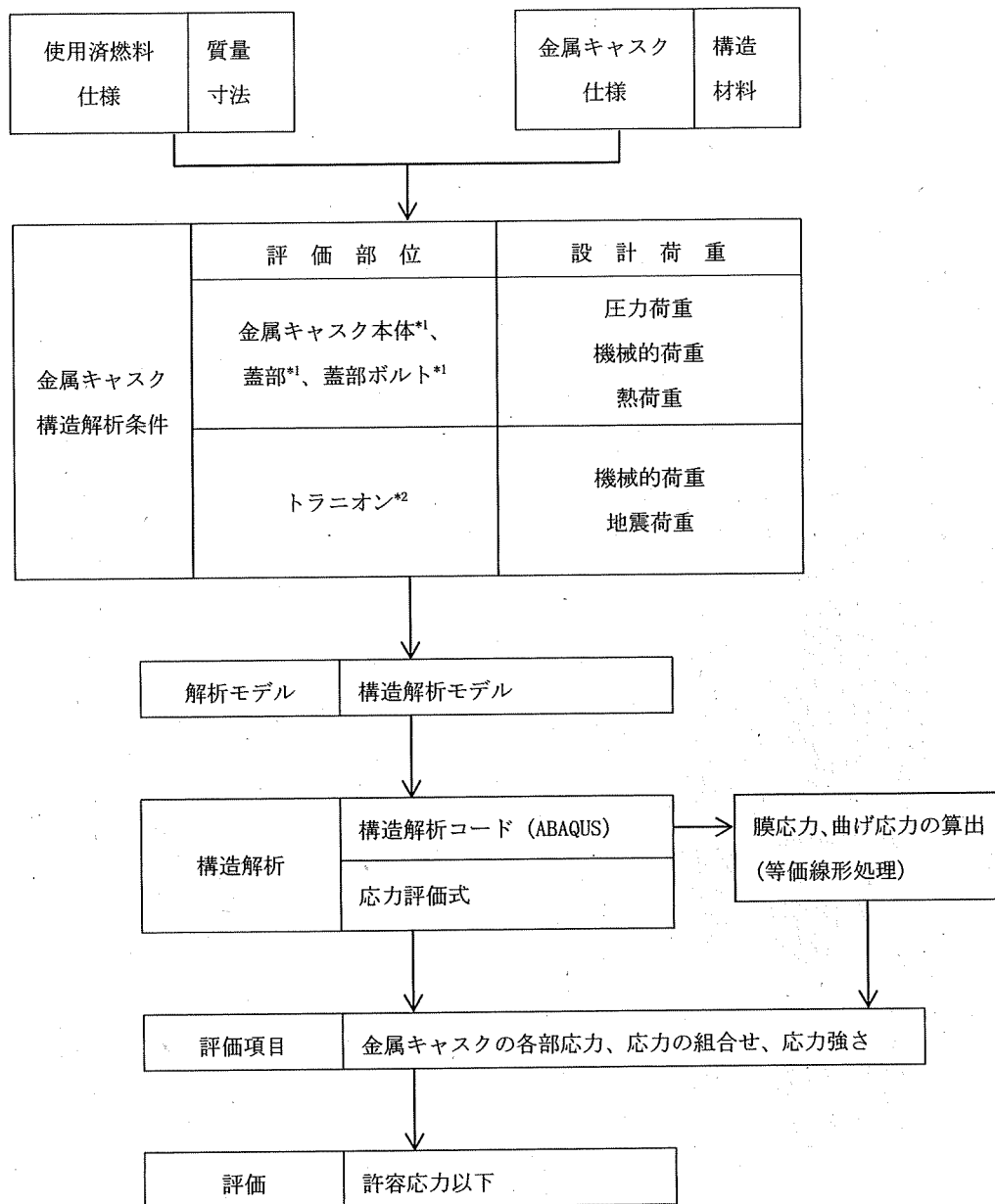


図 1-9 除熱解析フロー図



注記*1：構造解析コードによる評価

*2：応力評価式による評価

図 1-10 構造強度解析フロー図

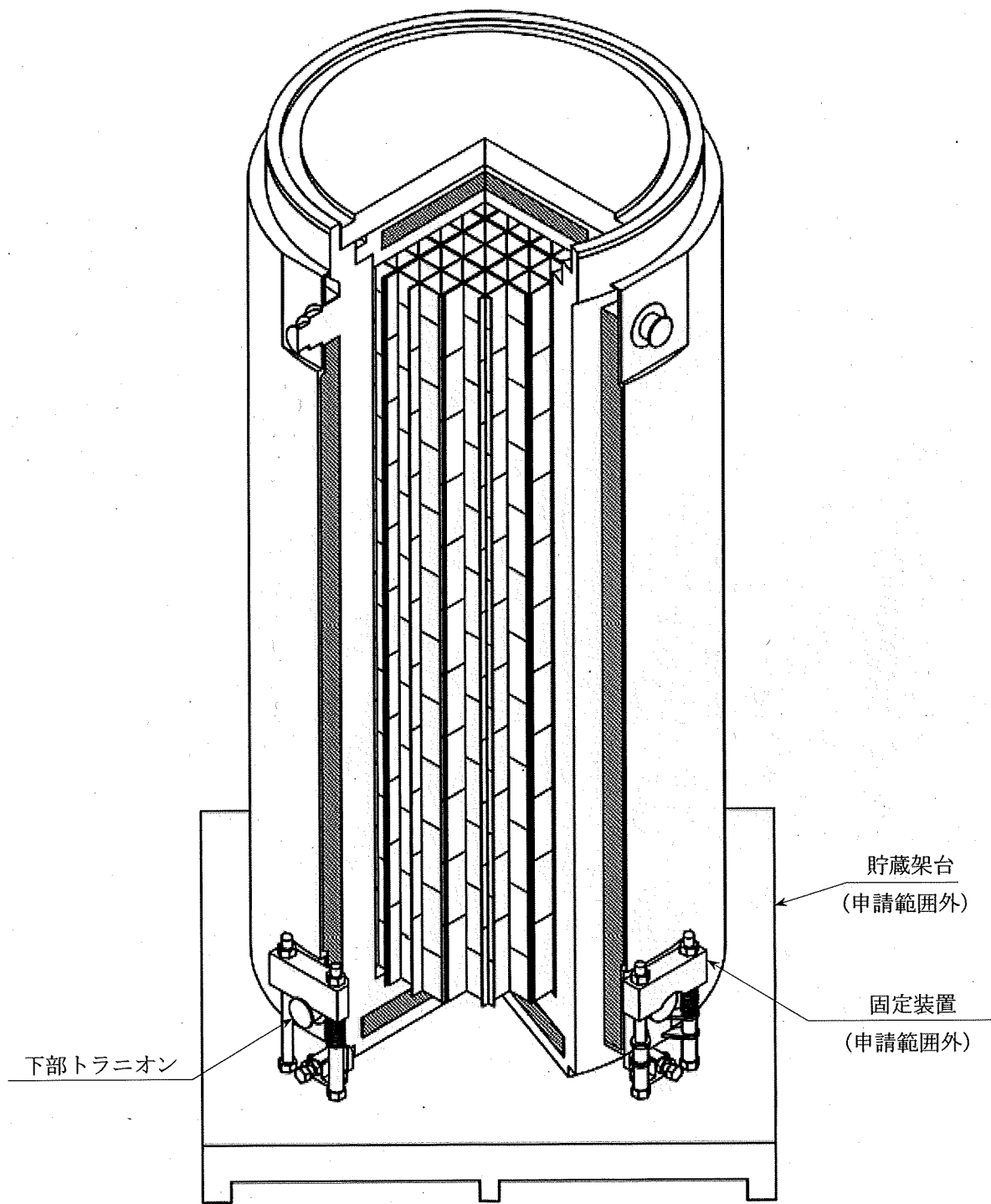


図 1-11 下部トラニオン固定図

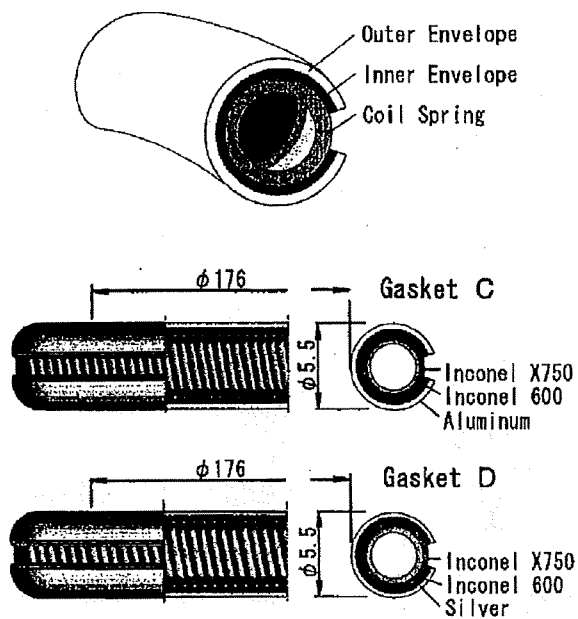


図 1-12 供試ガスケットの形状・寸法⁽¹⁶⁾

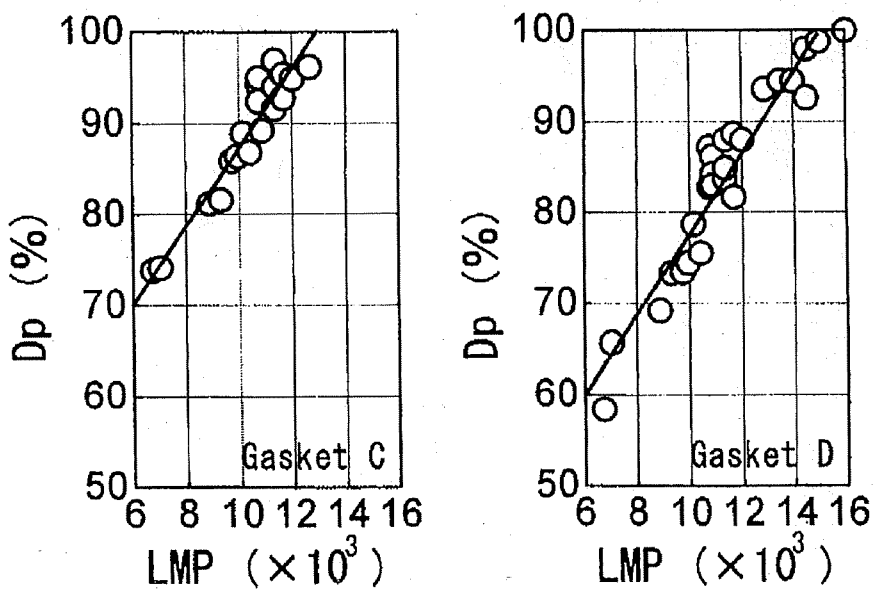


図 1-13 塑性変形率 D_p と LMP の関係⁽¹⁶⁾

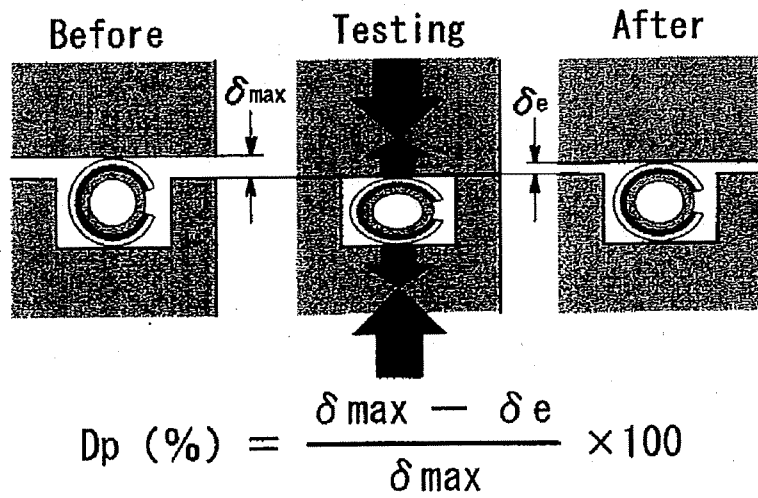


図 1-14 塑性変形率の定義⁽¹⁶⁾

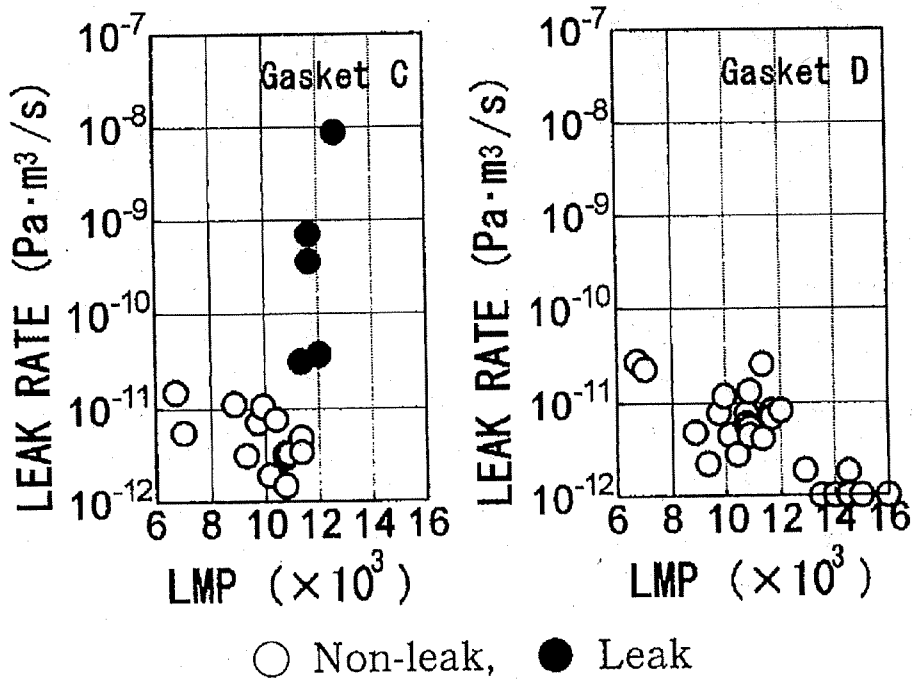


図 1-15 漏えい率と LMP の関係⁽¹⁶⁾

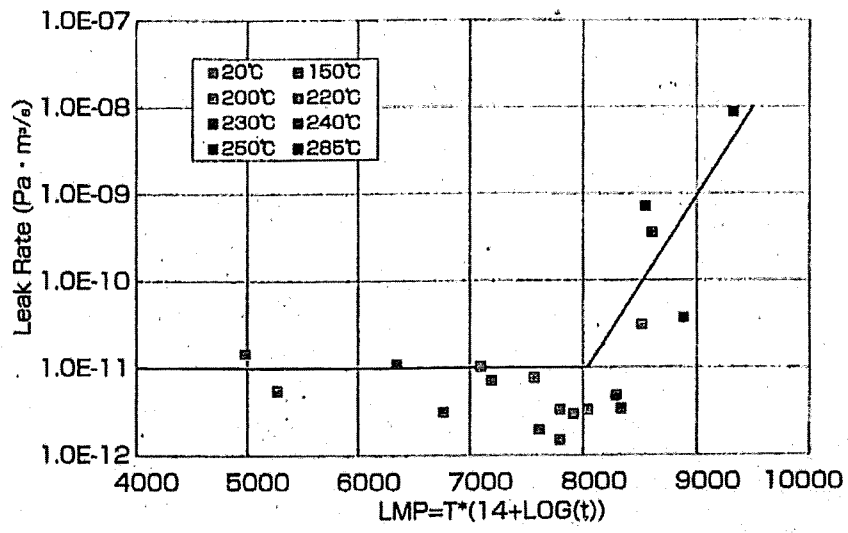


図 1-16 LMP の定数 C=14 における漏えい率と LMP の関係⁽¹⁷⁾

4. 参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構、「平成 18 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)」、(独)原子力安全基盤機構、(平成 19 年 3 月)
- (2) (独)原子力安全基盤機構、「平成 19 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」、(独)原子力安全基盤機構、(平成 20 年 3 月)
- (3) (一社)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」、(一社)日本機械学会、(2007 年 12 月)
- (4) N. Kumagai, 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 PATRAM, (2007)
- (5) K. Farrell, et al., “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, J. Nuclear Mater., Vol.210, 268-281, (1994)
- (6) (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(リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等)」、(一財)電力中央研究所、(2010 年 3 月)
- (7) (一社)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、(一社)日本機械学会、(2009 年)
- (8) (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)
- (9) (一財)原子力発電技術機構、「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」、(一財)原子力発電技術機構、(平成 15 年 9 月)
- (10) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, The use of small scale specimens for testing irradiated material, ASTM STP888, (1986)
- (11) ステンレス協会、「ステンレス鋼便覧(第 3 版)」、日刊工業新聞社、(1995)
- (12) (一社)日本金属学会、「金属便覧(改訂 6 版)」、丸善(株)、(平成 12 年)
- (13) R. P. Shogan, “Neutron Irradiation Effects on the Tensile Properties of Inconel 718, Waspaloy, and A-286”, WANL-TME-2791, (1971)
- (14) T. S. Byun, K. Farrell, “Tensile Properties of Inconel-718 after low temperature neutron irradiation”, J. Nuclear Mater., Vol.318, 292-299, (2003)
- (15) H. Yoshida, et al., “Reactor irradiation effects on Al1100”, Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol.24, 1-6, (1981)
- (16) 加藤治、伊藤千浩、三枝利有、「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)

- (17) (一財)電力中央研究所、「使用済核燃料貯蔵の基礎」、株式会社 ERC 出版、(2014 年 4 月 20 日)
- (18) 小崎明朗、「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」、(株)日本原子力情報センター主催セミナー、「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」、(1998)
- (19) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, Nuclear Technology, Vol. 96, (1991)

別添2

添付書類二 特定容器等を使用することにより使用済燃料貯蔵施設
に及ぼす影響に関する説明書

目次

1. 「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」に対する適合	2-1
1.1 概要	2-1
1.2 適用範囲	2-2
1.3 使用済燃料の臨界防止	2-3
1.4 遮蔽等	2-4
1.5 閉じ込めの機能	2-5
1.6 除熱	2-6
1.7 火災等による損傷の防止	2-7
1.8 使用済燃料貯蔵施設の地盤	2-8
1.9 地震による損傷の防止	2-9
1.10 津波による損傷の防止	2-10
1.11 外部からの衝撃による損傷の防止	2-11
1.12 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止	2-12
1.13 安全機能を有する施設	2-13
1.14 設計最大評価事故時の放射線障害の防止	2-14
1.15 金属キャスク	2-15
1.16 使用済燃料の受入れ施設	2-16
1.17 計測制御系統施設	2-17
1.18 廃棄施設	2-18
1.19 放射線管理施設	2-19
1.20 予備電源	2-20
1.21 通信連絡設備等	2-21
2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の 想定事象に対する安全評価	2-22
2.1 概要	2-22
2.2 HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果	2-23
2.3 事故の評価	2-23

1. 「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」に対する適合

1.1 概要

HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合に、当該施設の安全性を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認するために、「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(平成25年12月18日施行)」の各条に対する適合性を次項以下に示す。

ただし、添付書類一の「2.2 設計条件」に示す HDP-69B(B)型の設計条件が、使用済燃料貯蔵施設で使用する金属キャスクの設計条件に含まれていることを前提とする。

また、本章において用いる用語の定義は、同規則第2条「定義」に従い、それぞれ当該各号の定めるところによる。

1.2 適用範囲

第一条 適用範囲

この規則は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(以下「法」という。)第四十三条の四第二項第二号に規定する使用済燃料貯蔵施設(金属キャスクによって使用済燃料を貯蔵するものに限る。)について適用する。

HDP-69B(B)型は、法等の関連法規の要求を満足するとともに、適切と認められる規格及び基準等によって設計されている。

添付書類一の下記項目参照

2.1 設計方針

1.3 使用済燃料の臨界防止

第三条 使用済燃料の臨界防止

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ものでなければならない。

- (1) HDP-69B(B)型は、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、使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界に達することを防止する機能を有する。
- (2) バスケット格子は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計である。
- (3) 使用済燃料を収納した HDP-69B(B)型を、貯蔵建屋の貯蔵容量最大に収納した条件下で、HDP-69B(B)型の搬入から搬出までの全工程において、HDP-69B(B)型相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも、HDP-69B(B)型は臨界に達することを防止する設計である。
- (4) HDP-69B(B)型は、未臨界に有意な影響を与える以下の因子を考慮した設計である。
 - a. 配置・形状
貯蔵区域内の HDP-69B(B)型の配置、バスケット格子の形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置等において安全裕度を考慮している。
 - b. 中性子吸収材の効果
製造公差(濃度、非均質性、寸法等)及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少について適切に考慮している。
 - c. 減速材(水)の影響
使用済燃料を HDP-69B(B)型に収納するに当たり冠水することを考慮している。
 - d. 燃焼度クレジット
使用済燃料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、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮している。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の臨界防止機能に影響を与えることはない。

添付書類一の下記項目参照

3.1 臨界防止機能

1.4 遮蔽等

第四条 遮蔽等

- 使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。
- 2 使用済燃料貯蔵施設は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。

第1項について

HDP-69B(B)型は、設計貯蔵期間中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、表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が、それぞれ2mSv/h以下及び100μSv/h以下となるように設計されている。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能に関する評価で使用するエネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率が、HDP-69B(B)型の表面エネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率に対して同等以上であることを確認する必要がある。

第2項について

使用済燃料貯蔵施設の遮蔽設計に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

添付書類一の下記項目参照

3.2 遮蔽機能

1.5 閉じ込めの機能

第五条 閉じ込めの機能

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ことができるものでなければならない。

- (1) HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持できる設計である。
- (2) HDP-69B(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重の閉じ込め構造とし、蓋間を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を HDP-69B(B)型外部から隔離する設計である。
- (3) HDP-69B(B)型は、蓋間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である。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の閉じ込め機能に影響を与えることはない。

なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

添付書類一の下記項目参照

3.3 閉じ込め機能

1.6 除熱

第六条 除熱

使用済燃料貯蔵施設は、動力を用いずに使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるものでなければならない。

- (1) HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計である。
- (2) HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持する観点から設計貯蔵期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に設計されている。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、HDP-69B(B)型を含めた金属キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、それぞれ45℃以下及び65℃以下であることを確認する必要がある。

添付書類一の下記項目参照

3.4 除熱機能

1.7 火災等による損傷の防止

第七条 火災等による損傷の防止

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。

HDP-69B(B)型の設計条件として火災又は爆発の条件は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に火災又は爆発の条件が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.8 使用済燃料貯蔵施設の地盤

第八条 使用済燃料貯蔵施設の地盤

使用済燃料貯蔵施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(基本的安全機能を確保する上で必要な施設にあつては、同条第三項の地震力を含む。)が作用した場合においても当該使用済燃料貯蔵施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設は、変形した場合においてもその基本的安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 基本的安全機能を確保する上で必要な施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.9 地震による損傷の防止

第九条 地震による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。

- 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。
- 3 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ものでなければならない。
- 4 使用済燃料貯蔵施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある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がないものでなければならない。

第1項から第3項について

HDP-69B(B)型は、設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計とすることから、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の安全機能に影響を与えることはない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台が、HDP-69B(B)型の設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計であることを確認する必要がある。

第4項について

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

添付書類一の下記項目参照

2.1 設計方針

1.10 津波による損傷の防止

第十条 津波による損傷の防止

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津波に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

HDP-69B(B)型の設計条件として津波の流入及び到達は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に津波の流入及び到達が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.11 外部からの衝撃による損傷の防止

第十一条 外部からの衝撃による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)が発生した場合においても基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設は、事業所又はその周辺において想定される当該使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

第1項及び第2項について

HDP-69B(B)型の設計条件として外部からの衝撃事象は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に外部からの衝撃事象が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.12 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止

第十二条 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止

事業所には、使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入、使用済燃料貯蔵施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為(不正アクセス行為の禁止等に関する法律(平成十一年法律第百二十八号)第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。)を防止するための設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.13 安全機能を有する施設

第十三条 安全機能を有する施設

安全機能を有する施設を他の原子力施設と共用し、又は安全機能を有する施設に属する設備を一の使用済燃料貯蔵施設において共用する場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわないものでなければならない。

- 2 安全機能を有する施設は、当該施設の安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理ができるものでなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.14 設計最大評価事故時の放射線障害の防止

第十四条 設計最大評価事故時の放射線障害の防止

使用済燃料貯蔵施設は、設計最大評価事故(安全設計上想定される事故のうち、公衆が被ばくする線量を評価した結果、その線量が最大となるものをいう。)が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならない。

HDP-69B(B)型の取扱いに起因する想定事象として、HDP-69B(B)型の転倒事象、落下事象、及び HDP-69B(B)型への重量物の落下事象を選定し、基本的安全機能に関する評価を行った結果、いずれの事象が発生しても、閉じ込め境界部の健全性は維持されることから、外部への放射性物質の放出はなく事故事象に至ることはない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に、使用済燃料貯蔵施設の設計最大評価事故が選定される場合には、その設計最大評価事故に対して、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないことを確認する必要がある。

添付書類二の下記項目参照

2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価

1.15 金属キャスク

第十五条 金属キャスク

使用済燃料貯蔵施設には、金属キャスクを設けなければならない。

- 2 金属キャスクは、当該金属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ものでなければならない。

第1項について

HDP-69B(B)型は、金属キャスクである。

第2項について

基本的な安全機能を維持する上で重要な HDP-69B(B)型の構成部材は、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境、並びにその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのないように設計されている。また、HDP-69B(B)型本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の安全性に影響を与えることはない。

添付資料一の下記項目参照

3.6 長期健全性

1.16 使用済燃料の受入れ施設

第十六条 使用済燃料の受入れ施設

使用済燃料貯蔵施設には、使用済燃料を封入した金属キャスクの搬送及び受入れ時において基本的安全機能を確保することができる使用済燃料の受入れ施設を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.17 計測制御系統施設

第十七条 計測制御系統施設

使用済燃料貯蔵施設には、基本的安全機能のうち閉じ込め機能及び除熱機能が確保されていることを適切に監視することができる計測制御系統施設を設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設には、安全設計上想定される事故により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれが生じたとき、第十九条第二号の放射性物質の濃度若しくは線量が著しく上昇したとき又は廃棄施設から放射性廃棄物が著しく漏えいするおそれが生じたときに、これらを確実に検知して速やかに警報する設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.18 廃棄施設

第十八条 廃棄施設

使用済燃料貯蔵施設には、周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できるよう、必要に応じて、当該使用済燃料貯蔵施設において発生する放射性廃棄物を処理する能力を有する廃棄施設（放射性廃棄物を保管廃棄する施設を除く。）を設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設には、十分な容量を有する放射性廃棄物を保管廃棄する施設を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.19 放射線管理施設

第十九条 放射線管理施設

事業所には、次に掲げるところにより、放射線管理施設を設けなければならない。

- 一 放射線から放射線業務従事者を防護するため、線量を監視し、及び管理する設備を設けること。
- 二 事業所及びその境界付近における放射性物質の濃度及び線量を監視し、及び測定する設備を設けること。
- 三 放射線から公衆及び放射線業務従事者を防護するため、必要な情報を適切な場所に表示する設備を設けること。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.20 予備電源

第二十条 予備電源

使用済燃料貯蔵施設には、外部電源系統からの電気の供給が停止した場合において、監視設備その他必要な設備に使用することができる予備電源を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.21 通信連絡設備等

第二十一条 通信連絡設備等

事業所には、安全設計上想定される事故が発生した場合において事業所内の人に対し必要な指示ができるよう、警報装置及び通信連絡設備を設けなければならない。

- 2 事業所には、安全設計上想定される事故が発生した場合において事業所外の通信連絡をする必要がある場所と通信連絡ができるよう、通信連絡設備を設けなければならない。
- 3 使用済燃料貯蔵施設には、事業所内の人の退避のための設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価

2.1 概要

使用済燃料貯蔵施設において HDP-69B(B)型を使用する場合に、HDP-69B(B)型の基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象として、図 2-1 に示す金属キャスクのハンドリングフローに従い以下を抽出し、評価を行った。

- (1) HDP-69B(B)型の転倒・落下
- (2) HDP-69B(B)型への重量物の落下

評価の結果、次項に示すように、いずれの事象に対しても HDP-69B(B)型は基本的安全機能を維持し、使用済燃料貯蔵施設の安全性に影響を及ぼすことはない。

2.2 HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果

2.2.1 評価条件

図 2-1 に示す金属キャスクのハンドリングフローに基づき、HDP-69B(B)型の転倒事象、落下事象、及び HDP-69B(B)型への重量物の落下事象として以下を選定し評価を行った。

- (1) 仮置架台への水平落下
- (2) 衝撃吸収材への垂直落下
- (3) 貯蔵架台への垂直落下
- (4) たて起こし架台への転倒衝突
- (5) 衝撃吸収材への転倒衝突
- (6) 三次蓋の二次蓋への落下

2.2.2 評価結果

それぞれの事象で生じる加速度又は荷重条件を表 2-1 に示す。

2.2.1「評価条件」に示す(1)及び(4)の事象について、HDP-69B(B)型に作用する衝撃加速度は、いずれも「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(平成 28 年 10 月 1 日施行)」で定める特別の試験条件(落下試験 I)で作用する衝撃加速度を保守側に設定した設計加速度 より低いため、評価対象外とした。

2.2.1「評価条件」に示す(3)、(5)及び(6)の事象について、ABAQUS コードにより構造強度解析を実施した。なお、(2)の事象については、発生する衝撃加速度が(3)の事象に比べ小さいため、(3)の評価に包含される。構造強度解析の結果は表 2-2、表 2-3 及び表 2-4 に示すとおり、一次蓋閉じ込め境界部の発生応力は弾性範囲内であり、閉じ込め境界部の健全性は維持される。

2.3 事故の評価

2.2「HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果」に示すとおり、使用済燃料貯蔵施設において HDP-69B(B)型を使用する場合、取扱いに起因する事象を考慮しても閉じ込め境界部の健全性は維持されることから、公衆に対し放射線被ばくを及ぼす可能性のある事故に至ることはなく、使用済燃料貯蔵施設への影響はない。

表 2-1 HDP-69B(B)型の転倒及び落下事象時に発生する加速度、
又は HDP-69B(B)型への重量物落下事象時の荷重条件

No.	想定事象	加速度又は荷重条件
(1)	仮置架台への水平落下	26 G 以下
(2)	衝撃吸収材への垂直落下	13 G 以下
(3)	貯蔵架台への垂直落下	47 G 以下
(4)	たて起こし架台への転倒衝突	39 G 以下
(5)	衝撃吸収材への転倒衝突	29 G 以下 (蓋部近傍)
(6)	三次蓋の二次蓋への落下	3.0×10^6 N 以下

表 2-2 貯蔵架台への垂直落下時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	60 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、金属キャ スクに生じる加速度条件 を 50 G に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	320 MPa 以下	848 MPa	

表 2-3 衝撃吸収材への転倒衝突時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	80 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、金属キャ スクに生じる加速度条件 を 40 G に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	430 MPa 以下	848 MPa	

表 2-4 三次蓋の二次蓋への落下時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	70 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、二次蓋中 央に生じる荷重条件を 3.0×10^6 N に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	340 MPa 以下	848 MPa	

＜＜ 金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き ＞＞

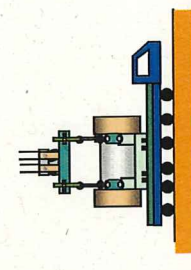

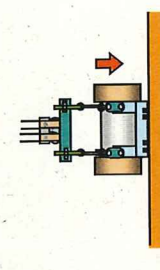
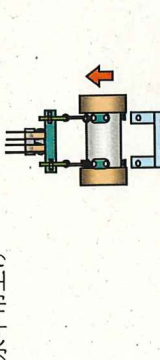
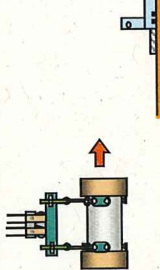
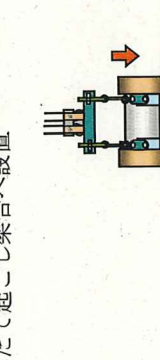
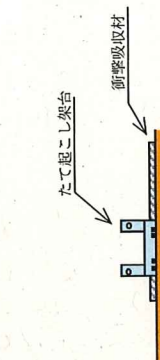
No.	取扱いモード	取扱いモード
1-1	<p>貯蔵建屋</p> <p>金属キャスク</p> <p>輸送車</p> <p>輸送車面</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 輸送車面上にて外観検査、線量当量率測定、表面密度測定等実施 	<p>金属キャスク水平吊上げ</p> 
1-2	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 
1-3	<ul style="list-style-type: none"> 水平吊上げ 	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 
1-4	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 	

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクハンドラッキングフロー(1/3)

＜＜ 緩衝体取外し～金属キヤスクのたて起こし～検査架台への移送 ＞＞

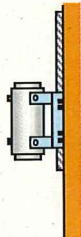
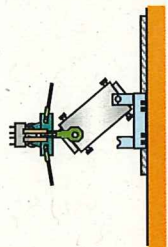
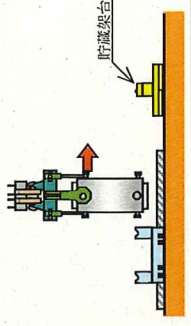

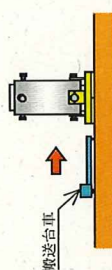
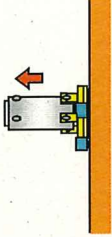
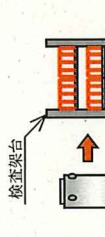
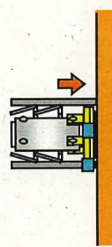
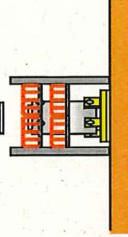
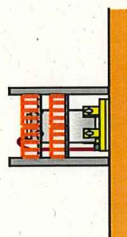
No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
2-1	<p>・緩衝体の取外し</p> 	2-2	<p>・金属キヤスクをたて起こし</p> 	2-3	<p>・垂直吊上後、貯蔵架台まで移送</p> 
2-4	<p>・貯蔵架台に着床</p> 	2-5	<p>貯蔵架台下部に搬送台車を挿入</p> 	2-6	<p>・搬送台車浮上</p> 
2-7	<p>・金属キヤスクを検査架台へ移送</p> 	2-8		2-9	<p>・三次蓋(輸送用)の取外し</p> 
2-10	<p>・貯蔵前検査と、圧力センサ及び表面温度センサの取付け</p> 	—	—	—	—

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キヤスクハンダリングフロー(2/3)

＜＜ 検査架台～貯蔵場所への設置 ＞＞

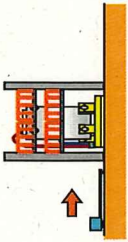
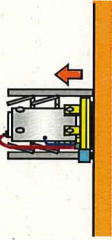
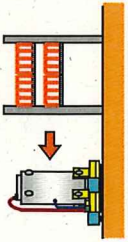
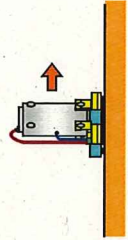
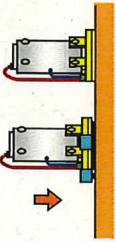
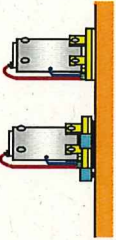
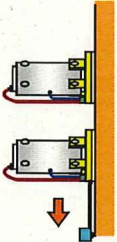
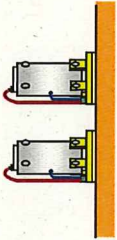
No.	取扱いモード	取扱いモード
3-1	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台下部に搬送台車を挿入 	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上 
3-3	<ul style="list-style-type: none"> 検査架台から金属キャスクを抜出し 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵場所へ金属キャスクを移送 
3-5	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車を降下させ、貯蔵架台を着床 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト一部取付け 
3-7	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の抜取り 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト取付け 

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクハンドリングフロー(3/3)

Doc No. FRO-TA-0024/REV.1

令和3年6月24日

原子力規制委員会 殿

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役社長 佐藤 深一郎

使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式指定申請書

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の26の3の規定に基づき、下記のとおり使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式についての指定の申請をいたします。

記

1. 氏名又は名称及び住所並びに代表者の氏名
氏名又は名称 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
住 所 茨城県日立市幸町三丁目1番1号
代表者の氏名 取締役社長 佐藤 深一郎
2. 主たる製造工場の名称及び所在地
名 称 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
日立事業所 臨海工場
所 在 地 茨城県日立市大みか町五丁目2番2号
3. 型式設計特定容器等の種類
金属製の乾式キャスク
4. 型式設計特定容器等の名称及び型式
HDP-69B(B)型
5. 型式設計特定容器等の型式証明の番号
M-DPC19001

6. 型式設計特定容器等の設計及び製作の方法の概要

6.1 基本設計方針

HDP-69B(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉（以下「BWR」という。）で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の乾式キャスク（以下「金属キャスク」という。）とする。HDP-69B(B)型は、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能（以下「臨界防止機能」という。）、金属キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能（以下「遮蔽機能」という。）、金属キャスクに収納された使用済燃料を閉じ込める機能（以下「閉じ込め機能」という。）、及び金属キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能（以下「除熱機能」という。）といった安全性を確保するために必要な機能（以下「基本的安全機能」という。）を有する構造とする。

また、HDP-69B(B)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和32年6月10日 法律第166号）（以下「原子炉等規制法」という。）及び「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号）（以下「技術基準規則」という。）等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。

- ・日本産業規格（JIS）
- ・日本機械学会規格（JSME）
- ・日本原子力学会標準（AESJ）等

6.1.1 臨界防止機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により臨界に達することを防止する設計とする。

また、HDP-69B(B)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69B(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、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以下となるように設計する。

バスケットプレートは、設計貯蔵期間（60年。以下「設計貯蔵期間」という。）を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。

6.1.2 地震による損傷の防止に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、当該型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲としている金属キャスクの貯蔵姿勢及び固定方式において、設計条件として設定する地震力（水平方向1.40 G、鉛直方向0.87 G）に対して、金属キャスクの構成部材を剛構造とし、発生する応力を弾性状態に留めることで、基本的安全機能が損なわれるお

それがない設計とする。

6.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。HDP-69B(B)型は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有する、金属ガasketをシール材とした一次蓋と二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋の間（以下「蓋間」という。）を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間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。

なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

6.1.4 火災及び爆発の防止に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用することで火災及び爆発を防止する設計とする。

また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属キャスクとするため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」（昭和53年12月28日 総理府令第57号）（以下「外運搬規則」という。）の特別の試験条件として規定される耐火試験の条件においても、技術上の基準を満足する設計とする。

6.1.5 材料及び構造等

HDP-69B(B)型の材料及び構造は、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の解釈」（令和2年2月5日制定 原規規発第2002054号-3）（以下「技術基準規則解釈」という。）、（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 JSME S FA1-2007」（以下「金属キャスク構造規格」という。）及び（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005（2007年追補版含む。）」（以下「設計・建設規格」という。）に基づき設計する。

6.1.5.1 材料について

(1) 機械的強度及び化学的成分

- (a) 容器等は、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分（使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性を含む。）を有する材料を使用する。

(2) 破壊じん性

- (a) 密封容器に使用する材料にあつては、当該密封容器が使用される圧力、温度、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験その他の評価方法により確認する。

(3) 非破壊試験

- (a) 容器等に使用する材料は、有害な欠陥がないことを非破壊試験により確認する。

6.1.5.2 構造及び強度について

(1) 延性破断の防止

- (a) 容器等は、取扱い時及び貯蔵時において、全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。
- (b) 密封容器は、破断延性限界に十分な余裕を有し、金属キャスクに要求される機能に影響を及ぼさない設計とする。また、閉じ込め機能を担保する密封シール部については、変形を弾性域に抑える設計とする。
- (c) 密封容器は、試験状態において、全体的な塑性変形が生じない設計とする。また、密封シール部については、変形を弾性域に抑える設計とする。

(2) 疲労破壊の防止

- (a) 密封容器は、取扱い時及び貯蔵時において、疲労破壊が生じない設計とする。

(3) 座屈による破壊の防止

- (a) 容器等は、取扱い時及び貯蔵時において、座屈が生じない設計とする。

6.1.5.3 密封容器の主要な耐圧部の溶接部について

密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、次のとおりとし、各種検査により、適用基準及び適用規格に適合していることを確認する。

- ・不連続で特異な形状でない設計とする。
- ・溶接による割れが生ずるおそれがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを、非破壊試験により確認する。
- ・適切な強度を有する設計とする。
- ・機械試験その他の評価方法により適切な溶接施工法及び溶接設備並びに適切な技能を有する溶接士であることをあらかじめ確認したものにより溶接する。

6.1.5.4 耐圧試験について

密封容器は、適切な耐圧検査を行ったとき、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないことを確認する。

6.1.6 除熱機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び金属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、使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料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するため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下のように温度制限を設ける。

- ・新型8×8燃料：200℃
- ・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：300℃

また、HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、基本的安全機能を維持する観点から以下のように制限を設ける。

- ・胴、外筒、蓋部、トラニオン：350℃
- ・中性子遮蔽材：150℃
- ・金属ガスケット：130℃
- ・バスケットプレート：300℃

6.1.7 遮蔽機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材（胴、外筒及び蓋部）及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属キャスクとするため、外運搬規則に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。

- ・表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。
- ・表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が100 μSv/hを超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間中におけるHDP-69B(B)型の中性子遮蔽材の遮蔽機能の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。

6.1.8 その他の設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料貯蔵施設への搬入、貯蔵及び搬出に係る金属キャスクの移動の際に想定される金属キャスクの転倒事象、落下事象、及び金属キャスクへの重量物の落下事象に対して、基本的安全機能を維持できる設計とする。

6.2 設計仕様

HDP-69B(B)型の設計仕様は、以下のとおりとする。また、HDP-69B(B)型の構造図を図1に示す。

型 式		—	HDP-69B(B)型		
容 量		体	69* ⁴		
最大崩壊熱量		kW	13.8* ⁵		
最高使用圧力		MPa	1.0		
最高使用温度	金属キャスク本体	℃	150		
	バスケット	℃	260		
主要寸法 *1	全 長		mm	5320	
	外 径		mm	2482	
	金属キャスク 本体	胴	内 径	mm	1664
			胴板厚さ	mm	246
			底板厚さ	mm	195
		外筒	外 径	mm	2482
			厚 さ	mm	20
		トラニオン	外 径	mm	260
				mm	200
				mm	140
		底部中性子遮蔽材カバー	外 径	mm	□
			厚 さ	mm	□
	側部中性子遮蔽材厚さ		mm	143	
	底部中性子遮蔽材厚さ		mm	110	
	一次蓋	外 径	mm	1910	
		厚 さ	mm	85	
		蓋部中性子遮蔽材厚さ	mm	93	
一次蓋ボルト	呼び径	—	□		
	本 数	本	□		
二次蓋	外 径	mm	2136		
	厚 さ	mm	169		
二次蓋ボルト	呼び径	—	□		
	本 数	本	□		
バスケット	外 径* ²	mm	1664		
	高 さ	mm	□		
	内 幅	mm	□		
	バスケットプレート厚さ	mm	□		

6

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

材 料	洞	—	GLF1
	外筒	—	SM400B
	中性子遮蔽材（蓋部，底部，側部）*3	—	レジン
	伝熱フィン	—	SM400B 及び C1020P
	一次蓋	—	GLF1
	一次蓋ボルト	—	SNB23-3
	二次蓋	—	SGV480
	二次蓋ボルト	—	SNB23-3
	バスケットプレート	—	B-SUS304P-1
	トラニオン（上部，下部）	—	SUS630 H1150
	底部中性子遮蔽材カバー	—	SGV480
	バルブカバー（ドレン，ベント用）	—	SUS304

注記*1：主要寸法は，公称値を示す。

*2：バスケット外径は，バスケットプレートを洞内面の溝で支持する構造とするため，洞内径の寸法を示す。

*3：レジンの密度は g/cm³ とする。

*4：HDP-69B(B)型全質量（BWR 使用済燃料 69 体を含む。）は，118.3 t 以下とする。

*5：以下の燃料を貯蔵する。

- ・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

使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。

(1) 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

配置(i)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	40,000 MWd/t 以下
収納する使用済燃料の平均燃焼度	34,000 MWd/t 以下
冷却期間	18 年以上

配置(ii)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	48,000 MWd/t 以下
収納する使用済燃料の平均燃焼度	40,000 MWd/t 以下
冷却期間	22 年以上

(2) 新型 8×8 燃料のみを収納する場合

配置 (iii)

収納する使用済燃料の最高燃焼度	34,000 MWd/t 以下
収納する使用済燃料の平均燃焼度	29,000 MWd/t 以下
冷却期間	28 年以上

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の収納位置条件を図 2, 図 3, 図 6 に示す。

なお, 配置(ii)に関しては, 軸方向燃焼度が図 4 に示す燃焼度を下回ることを貯蔵事業者により確認された使用済燃料を収納可能とする。配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例を, 図 5 に示す。

6.3 製作の方法

6.3.1 製作の手順

6.3.1.1 製作の手順と検査

HDP-69B(B)型の製作及び検査の手順を図7に示す。図7に示すように、材料入手、加工、組立の各製作手順の適切な時期に、使用済燃料貯蔵事業者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定容器の製造者として必要な検査を行う。

なお、具体的な製作の手順については添付書類9を参照のこと。

6.3.1.2 主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査

HDP-69B(B)型の主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査のフローを図8に示す。なお、検査においては、使用済燃料貯蔵事業者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定容器の製造者として実施する検査を示す。

6.3.2 検査の方法

構造、強度及び漏えいを確認するために十分な方法、機能及び性能を確認するために十分な方法、その他型式設計特定容器の設計及び製作が計画に従って行われたものであることを確認するために十分な方法により、図7のフローに基づいて、使用済燃料貯蔵事業者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定容器の製造者として必要な検査を行う。

6.3.2.1 構造、強度又は漏えいに係る検査

a. 構造、強度又は漏えいに係る検査

金属キャスク構造規格の規定に基づき、表1に示す構造、強度又は漏えいに係る検査を実施する。

b. 主要な耐圧部の溶接部に係る検査

主要な耐圧部の溶接部について、技術基準規則第14条第1項第3号並びに技術基準規則解釈に適合するよう、以下の(1)及び(2)の工程ごとに検査を実施する。

(1) あらかじめ確認する事項

次の①及び②については、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に、金属キャスク構造規格にて準用する、(社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2007又はJSME S NB1-2012/2013」(以下「溶接規格」という。)」第2部 溶接施工方法認証標準及び第3部 溶接技能認証標準に従い、表2、表3に示す検査を行う。その際、以下のいずれかに該当する特殊な溶接方法は、その確認事項の条件及び方法の範囲内で「① 溶接施工法に関すること」を確認する。

・平成12年6月以前に旧電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令(昭和45年通商産業省令第81号)第2条に基づき、通商産業大臣の認可を受けた特殊

な溶接方法。

- ・平成12年7月以降に一般社団法人日本溶接協会又は一般社団法人発電設備技術検査協会により適合性確認を受けた溶接方法。

- ① 溶接施工法に関する事
- ② 溶接士の技能に関する事

なお、①又は②について、以下のいずれかの方法により適合性が確認されているものは、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に表2、表3に示す検査は要さないものとする。

- ① 溶接施工法に関する事

- ・使用済燃料貯蔵施設の溶接施工法として、原子炉等規制法に基づき認可を受けた溶接施工法。
- ・前述と同等の溶接施工法として、原子炉等規制法における他の施設にて、認可を受けたもの、溶接安全管理審査、使用前事業者検査等で溶接施工法の確認を受けたもの又は客観性を有する方法により確認試験が行われ判定基準に適合しているもの。ここで、他の施設とは、加工施設、試験研究用等原子炉施設、発電用原子炉施設、再処理施設、特定第一種廃棄物埋設施設、特定廃棄物管理施設をいう。

- ② 溶接士の技能に関する事

- ・溶接規格第3部 溶接士技能認証標準によって認証されたものと同等と認められるものとして、技術基準解釈別記に示されている溶接士が溶接を行う場合。
- ・溶接規格第3部 溶接士技能標準に適合する技術士が、技術基準解釈別記の有効期限内に溶接を行う場合。

(2) 主要な耐圧部の溶接部に対する確認事項

技術基準規則第14条第1項第3号の主要な耐圧部の溶接部について、表4に示す検査を実施する。

6.3.2.2 機能及び性能に係る検査

金属キャスク構造規格の規定に基づき、表5に示す機能及び性能に係る検査を実施する。

6.3.2.3 基本設計方針検査

6.1節の「基本設計方針」のうち、表1で示す「構造、強度又は漏えいに係る検査」及び表5で示す「機能及び性能に係る検査」では確認できない事項について、表6に示す検査を実施する。

6.3.2.4 品質マネジメントシステムに係る検査

HDP-69B(B)型の製作が、使用済燃料貯蔵事業者における品質マネジメントシステムに示すプロセスとおりに実施されていることの確認を同事業者から求められた場合に、品質記録の提供や立会確認等を受けるものとする。

また、型式設計特定容器の製造者として、調達する物品又は役務が「7.申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載したプロセスとおりに行われていることの実施状況を確認するとともに、調達する物品又は役務に係る記録の信頼性を確保するため、表7に示す検査を実施する。

6.3.3 製作上の留意事項

型式設計特定容器等の製作の実施に当たっては、「7.申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載の品質管理活動に係る要求を遵守するとともに、従事者及び公衆の安全確保等の観点から、以下に留意し製作を進める。

- a. 製作を行う金属キャスクについて、製作時の環境条件からの悪影響や劣化等を受けないよう、隔離、作業環境維持、異物侵入防止対策等の必要な措置を講じる。
- b. 製作を行う金属キャスクについて、必要に応じて、供用後の施設管理のための重要なデータを採取する。
- c. 製作の状況に応じて、検査・試験等の各段階における工程を管理する。
- d. 特別な工法を採用する場合の施工方法は、技術基準規則に適合するよう、安全性及び信頼性について必要に応じ検証等により十分確認された方法により実施する。

7. 申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項

HDP-69B(B)型の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する次の事項、

- (1) 品質管理の実施に係る組織
- (2) 品質管理活動の計画
- (3) 品質管理活動の実施
- (4) 品質管理活動の評価
- (5) 品質管理活動の改善

については、以下のとおりとする。

7.1 総則

7.1.1 目的

本品質マネジメントシステム計画は、日立GEニュークリア・エナジー株式会社（以下「型式設計特定容器等の製造者等」という。）の安全を達成・維持・向上させ、使用済燃料の貯蔵及び輸送を含む原子力事業者等の品質マネジメントシステムの要求事項を踏まえ、型式設計特定容器等の設計、製造、検査及び輸送の各段階に係る品質管理活動を実施するため、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」（令和2年1月23日 原子力規制委員会規則第2号）及び「同規則の解釈」（以下「品質管理基準規則」という。）に従って型式設計特定容器等の製造者等の品質管理活動に係る品質マネジメントシステム（以下「品質マネジメントシステム」という。）を確立し、実施し、評価確認し、継続的に改善するとともに、安全文化及び安全のためのリーダーシップによって原子力の安全を確保することを目的とする。

7.1.2 定義

本章における用語の定義は、以下を除き品質管理基準規則に従う。

(1) 使用済燃料貯蔵施設

原子炉等規制法第43条の4第2項第2号に規定する使用済燃料貯蔵施設をいう。

(2) 「品質管理活動」とは、原子力の安全を確保するため、型式設計特定容器等が原子炉等規制法第43条の26の3第3項各号に該当することを保証するために必要な措置を体系的に実施することをいう。

(3) 「使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則」（平成12年6月16日 通商産業省令第112号）（以下「貯蔵規則」という。）第43条の2の8第1項第7号の「申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する次の事項」とは、申請する型式設計特定容器等に係る品質管理基準規則の規定に適合するために計画された事項を言うが、この場合の品質管理基準規則

は、原規規発 20033110 号「使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の型式証明及び型式指定運用ガイド別添」に読み替えて解釈する。

- (4) 取締役社長は、型式設計特定容器等の製造者等における代表者及び経営責任者として、会社全体の品質管理活動に係る最終的な責任を負い、品質マネジメントシステムの運営と維持に責任を持つ。
- (5) 管理責任者は、品質マネジメントシステム管理責任者の事をいい、取締役社長から品質管理基準規則第 15 条に記載のある権限を与えられ、品質管理活動について統括する責任を有する、原子力品質保証本部長が該当する。
- (6) 管理者は、取締役社長から品質管理基準規則第 16 条に記載のある権限を与えられた者をいい、原子力生産本部長並びに原子力品質保証本部長が該当する。

7.1.3 適用範囲

本品質マネジメントシステム計画は、型式設計特定容器等の製造者等の品質管理活動に適用する。

7.2 品質マネジメントシステム

7.2.1 品質マネジメントシステムに係る要求事項

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステムを確立し、実施するとともに、その実効性を維持するため、その改善を継続的に行う。これらを実施するために、以下を考慮する。
 - (a) 実行性の維持に際し、品質管理活動の目的が達成される蓋然性が高い計画を立案し、計画どおりに品質管理活動を実施した結果、計画段階で意図した効果を維持していること。
 - (b) 品質マネジメントシステムの確立、実施、実効性の維持及び改善の継続的实施に際しては、品質マネジメントシステムに基づき実施した一連のプロセスの運用の結果、原子力の安全の確保が維持されているとともに、不適合その他の事象について品質マネジメントシステムに起因する原因を究明し、是正処置や未然防止処置を通じて原因の除去を行うこと等により、当該システムの改善を継続的に行うこと。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理活動の重要度に応じて、品質マネジメントシステムを確立し、運用する。この場合において、次に掲げる事項を適切に考慮する。
 - (a) 型式設計特定容器等、組織又は個別業務の重要度及びこれらの複雑さの程度
 - (b) 型式設計特定容器等の品質又は品質管理活動に関連する原子力の安全に影響を及ぼすおそれのあるもの及びこれらに関連する潜在的影響の大きさ。本項目を考慮する際には、原子力の安全に影響を及ぼすおそれのある自然現象や人為による事

象（故意によるものを除く。）及びそれらにより生じ得る影響や結果の大きさについて考慮する。

- (c) 型式設計特定容器等の故障若しくは通常想定されない事象の発生又は品質管理活動が不適切に計画され、若しくは実行されたことにより起こり得る影響。本項目の中で、「通常想定されない事象」について、設計上考慮していない又は考慮していても発生し得る事象（人的過誤による作業の失敗等）をいう。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等に適用される関係法令（以下「関係法令」という。）を明確に認識し、品質管理基準規則が要求する文書その他品質マネジメントシステムに必要な文書（記録を除く。以下「品質マネジメント文書」という。）に明記する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステムに必要なプロセスを明確にするとともに、そのプロセスを組織に適用することを決定し、次に掲げる業務を行う。
 - (a) プロセスの運用に必要な情報及び当該プロセスの運用により達成される結果を明確にする。
 - (b) プロセスの順序及び相互の関係（組織内のプロセス間の相互関係を含む。）を図9のとおりとする。
 - (c) プロセスの運用及び管理の実効性の確保に必要な組織の品質管理活動の状況を示す指標（以下「品質管理活動指標」という。）並びに当該指標に係る判定基準を明確に定める。この品質管理活動指標には、「原子力規制検査等に関する規則」（令和2年1月23日 原子力規制委員会規則第1号）第5条に規定する安全実績指標（特定核燃料物質の防護に関する領域に係るものを除く。）を含める。
 - (d) プロセスの運用並びに監視及び測定（以下「監視測定」という。）に必要な資源及び情報が利用できる体制を確保する（責任及び権限の明確化を含む。）。
 - (e) プロセスの運用状況を監視測定し、分析すること。ただし、監視測定することが困難である場合は、この限りでない。
 - (f) プロセスについて、意図した結果を得、及び実効性を維持するための措置を講ずる（プロセスの変更を含む。）。
 - (g) プロセス及び組織を品質マネジメントシステムと整合的なものとする。
 - (h) 原子力安全とそれ以外の事項において意思決定の際に対立が生じた場合には、原子力安全が確保されるようにする。これには、セキュリティ対策が原子力安全に与える潜在的な影響と、原子力安全に係る対策がセキュリティに与える潜在的な影響を特定し、解決することを含む。
- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、健全な安全文化を育成し、及び維持する。技術的、人的、組織的な要因の相互作用を適切に考慮し、効果的な取組みを通じて以下の状態を目指していることを含む。

- ・原子力の安全及び安全文化の理解が組織全体で共通のものとなっている。
 - ・風通しの良い組織文化が形成されている。
 - ・要員が、自らが行う原子力の安全に係る業務について理解して遂行し、その業務に責任を持っている。
 - ・全ての活動において、原子力の安全を考慮した意思決定が行われている。
 - ・要員が、常に問いかける姿勢及び学習する姿勢を持ち、原子力の安全に対する自己満足を戒めている。
 - ・原子力の安全に影響を及ぼすおそれのある問題が速やかに報告され、報告された問題が対処され、その結果が関係する要員に共有されている。
 - ・安全文化に関する内部監査及び自己評価の結果を組織全体で共有し、安全文化を改善するための基礎としている。
 - ・原子力の安全には、セキュリティが関係する場合があることを認識して、要員が必要なコミュニケーションを取っている。
- (6) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等又は個別業務に係る要求事項(関係法令を含む。以下「個別業務等要求事項」という。)への適合に影響を及ぼすプロセスを外部委託することとしたときは、当該プロセスが管理されているようにする。
- (7) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理活動の重要度に応じて、資源の適切な配分を行う。

7.2.2 品質マネジメントシステムの文書化

型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理活動の重要度に応じて次に掲げる文書を作成し、当該文書に規定する事項を実施する。また、これらの文書体系を図10、表8に示す。

- (1) 品質方針及び品質目標
- (2) 品質マネジメントシステムを規定する文書(以下「品質マネジメントシステム計画書」という。)
- (3) 実効性のあるプロセスの計画的な実施及び管理がなされるようにするために、組織が必要と決定した文書
- (4) 品質管理基準規則が要求する手順書、指示書、図面等(以下「手順書等」という。)

7.2.3 品質マネジメントシステム計画書

型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステム計画書に次に掲げる事項を定める。

- (1) 品質マネジメントシステムの運用に係る組織に関する事項
- (2) 品質管理活動の計画、実施、評価及び改善に関する事項

- (3) 品質マネジメントシステムの適用範囲
- (4) 品質マネジメントシステムのために作成した手順書等の参照情報
- (5) プロセスの相互の関係

7.2.4 文書管理

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメント文書を管理する。これには以下の事項を含める。
 - (a) 組織として承認されていない文書の使用又は適切でない変更の防止
 - (b) 文書の組織外への流出等の防止
 - (c) 品質マネジメント文書の発行及び改訂に係る審査の結果、当該審査の結果に基づき講じた措置並びに当該発行及び改訂を承認した者に関する情報の維持
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、要員が判断及び決定をするに当たり、適切な品質マネジメント文書を利用できるよう、品質マネジメント文書に関する次に掲げる事項を定めた手順書等を作成する。これには、文書改訂時等の必要な時に当該文書作成時に使用した根拠等の情報が確認できることを含める。
 - (a) 品質マネジメント文書を発行するに当たり、その妥当性を審査し、発行を承認する。
 - (b) 品質マネジメント文書の改訂の必要性について評価するとともに、改訂に当たり、その妥当性を審査し、改訂を承認する（改訂の妥当性を審査することを含む。）。
 - (c) 品質マネジメント文書の審査及び評価には、その対象となる文書に定められた活動を実施する部門の要員を参画させる（品質マネジメントシステム計画書に記載の組織の最小単位）。
 - (d) 品質マネジメント文書の改訂内容及び最新の改訂状況を識別できるようにする。
 - (e) 改訂のあった品質マネジメント文書を利用する場合には、当該文書の適切な制定版又は改訂版が利用しやすい体制を確保する。
 - (f) 品質マネジメント文書を、読みやすく容易に内容を把握することができるようにする。
 - (g) 組織の外部で作成された品質マネジメント文書を識別し、その配付を管理する。
 - (h) 廃止した品質マネジメント文書が使用されることを防止する。この場合において、当該文書を保持するときは、その目的にかかわらず、これを識別し、管理する。

7.2.5 記録の管理

型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理基準規則に規定する個別業務等要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性を実証する記録を明確にするとともに、当該記録を、読みやすく容易に内容を把握することができ、かつ、検索することができるように作成し、品質管理活動の重要度に応じてこれを管理する。

型式設計特定容器等の製造者等は、前項の記録の識別、保存、保護、検索及び廃棄に関し、所要の管理の方法を定めた手順書等を作成する。

7.3 経営責任者等の責任

7.3.1 経営責任者の原子力の安全のためのリーダーシップ

取締役社長は、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、責任を持って品質マネジメントシステムを確立させ、実施させるとともに、その実効性を維持していることを、次に掲げる業務を管理責任者に委譲し実施させることによって実証する。図11に関連組織図を示す。

- (1) 品質方針を定める。
- (2) 品質目標が定められているようにする。
- (3) 要員が、健全な安全文化を育成し、及び維持することに貢献できるようにする（要員が健全な安全文化を醸成し、維持する取組みに参画できる環境を整えていることを含む。）。
- (4) 7.3.10 項に規定するマネジメントレビューを実施するため、必要な会議体等の場を設ける。
- (5) 資源が利用できる体制を確保する。
- (6) 関係法令を遵守することその他原子力の安全を確保することの重要性を要員に周知する。
- (7) 品質管理活動に関する担当業務を理解し、遂行する責任を有することを要員に認識させる。
- (8) 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、その優先順位及び説明する責任を考慮して確実に行われるようにする。

7.3.2 原子力安全の確保の重視

取締役社長は、組織の意思決定に当たり、型式設計特定容器等及び個別業務が個別業務等要求事項に適合し、かつ、原子力の安全がそれ以外の事由により損なわれないようにする（例えば、コスト、工期等によって原子力の安全が損なわれないこと。）。

7.3.3 品質方針

取締役社長は、品質方針（健全な安全文化を育成し、及び維持することに関するものを含む。）が次に掲げる事項に適合しているようにする。

なお、健全な安全文化の育成及び維持に関するものは、技術的、人的及び組織的な要因並びにそれらの相互作用が原子力安全に対して影響を及ぼすことを考慮し、組織全体の安全文化のあるべき姿を目指して設定する。

- (1) 組織の目的及び状況に対して適切なもの、組織運営に関する方針と統合的なものである。
- (2) 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性の維持に経営責任者が責任を持って関与する。
- (3) 品質目標を定め、評価するに当たっての枠組みとなるものである。
- (4) 要員に周知され、理解されている。
- (5) 品質マネジメントシステムの継続的な改善に取締役社長が責任を持って関与する。

7.3.4 品質目標

- (1) 取締役社長は、部門において、品質目標(個別業務等要求事項への適合のために必要な目標を含む。)が定められているようにする。また、品質目標には、達成するための計画として次の事項を含める。
 - (a) 実施事項
 - (b) 必要な資源
 - (c) 責任者
 - (d) 実施事項の完了時期
 - (e) 結果の評価方法
- (2) 取締役社長は、品質目標が、その達成状況を評価し得るものであって、かつ、品質方針と統合的なものとなるようにする。

7.3.5 品質マネジメントシステムの計画

- (1) 取締役社長は、品質マネジメントシステムが7.2.1項の規定に適合するよう、その実施に当たっての計画が策定されているようにする。
- (2) 取締役社長は、品質マネジメントシステムの変更が計画され、それが実施される場合においては、当該品質マネジメントシステムが不備のない状態(プロセス及び組織の変更(累積的な影響が生じ得るプロセス及び組織の軽微な変更を含む。))を含む。)に維持されているようにしなければならない。この場合において、品質管理活動の重要度に応じて、次に掲げる事項を適切に考慮する。
 - (a) 品質マネジメントシステムの変更の目的及び当該変更により起こり得る結果。これには、組織の活動として実施する以下の事項を含むものとする。
 - ・当該変更による原子力の安全への影響の程度と分析及び評価
 - ・当該分析及び評価の結果に基づき講じた措置
 - (b) 品質マネジメントシステムの実効性の維持
 - (c) 資源の利用可能性
 - (d) 責任及び権限の割当て

7.3.6 責任及び権限

取締役社長は、部門及び要員の責任（担当業務に応じて組織内の内外に対し業務の内容について説明する責任を含む。）及び権限並びに部門相互間の業務の手順（部門間で連携が必要な業務のプロセスにおいて、業務（情報の伝達を含む。）が停滞し、断続することなく遂行できる仕組みをいう。）を定めさせ、関係する要員が責任を持って業務を遂行できるようにする。

7.3.7 品質マネジメントシステム管理責任者

取締役社長は、品質マネジメントシステムを管理する責任者に、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。

- (1) プロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにする。
- (2) 品質マネジメントシステムの運用状況及びその改善の必要性について取締役社長に報告する。
- (3) 健全な安全文化を育成し、及び維持することにより、原子力の安全の確保についての認識が向上するようにする。
- (4) 関係法令を遵守する。

7.3.8 管理者

- (1) 取締役社長は、次に掲げる業務を管理監督する地位にある者（以下「管理者」という。）に、当該管理者が管理監督する業務に係る責任及び権限を与える（管理者として責任及び権限を付与されている者をいう。個別業務のプロセスを管理する責任者を設置している場合には、その業務を行わせることができるが、この場合の責任者の責任及び権限は文書にて明確に定めるものとする。）。
 - (a) 個別業務のプロセスの確立と実施及び、その実効性の維持
 - (b) 要員の個別業務等要求事項についての認識向上
 - (c) 個別業務の実施状況に関する評価
 - (d) 健全な安全文化の育成と維持
 - (e) 関係法令の遵守
- (2) 管理者は、前項の責任及び権限の範囲において、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、次に掲げる事項を確実に実施する。
 - (a) 品質目標を設定し、その目標の達成状況を確認するため、業務の実施状況を監視測定する。
 - (b) 要員が、原子力の安全に対する意識を向上し、かつ、原子力の安全への取組みを積極的に行えるようにする。
 - (c) 原子力の安全に係る意思決定の理由及びその内容を、関係する要員に確実に伝達

する。

- (d) 常に問いかける姿勢及び学習する姿勢を要員に定着させるとともに、要員が、積極的に型式設計特定容器等の品質管理に関する問題の報告を行えるようにする。
 - (e) 要員が、積極的に業務の改善に対する貢献を行えるようにする。
- (3) 管理者は、管理監督する業務に関する自己評価を、あらかじめ定められた間隔で行う。この自己評価には、安全文化についての弱点のある分野及び強化すべき分野に係るものを含める。あらかじめ定められた間隔は、品質マネジメントシステムの実効性の維持及び継続的な改善のために品質管理活動として取り込む必要がある課題、並びに当該品質マネジメントシステムの変更を考慮に入れて設定される。

7.3.9 組織の内部の情報の伝達

取締役社長及び管理責任者は、組織の内部の情報が適切に伝達される仕組みが確立されているようにするとともに、品質マネジメントシステムの実効性に関する情報が確実に伝達されるようにする。これには、品質マネジメントシステムの運営に必要となるコミュニケーションが必要に応じて行われる仕組みを決定し、実行することを含む。例えば、品質マネジメントシステムの評価の結果を要員に理解させ、組織全体で品質マネジメントシステムの実効性に関する認識を共有していることも含まれる。

仕組みとして、マネジメントレビュー会議などを設置する。

7.3.10 マネジメントレビュー

取締役社長は、品質マネジメントシステムの実効性を評価するとともに、改善の機会を得て、品質管理活動の改善に必要な措置を講ずるため、品質マネジメントシステムの評価（以下「マネジメントレビュー」という。）を、あらかじめ定められた間隔で行う。

7.3.11 マネジメントレビューに用いる情報

型式設計特定容器等の製造者等は、マネジメントレビューにおいて、少なくとも次に掲げる情報を報告する。

- (1) 内部監査の結果
- (2) 型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者の意見（安全文化の外部評価を含む。）を受けた場合の結果、原子力規制委員会の意見、外部の組織又は者から受けた監査、評価等を含む。
- (3) プロセスの運用状況（JIS Q 9001の「プロセスのパフォーマンス並びに製品及びサービスの適合」の状況及び「プロセスの監視測定で得られた結果」に相当するものをいう。）
- (4) 使用前事業者検査、定期事業者検査及び使用前検査（以下「使用前事業者検査等」という。）並びに自主検査等の結果

- (5) 品質目標の達成状況
- (6) 健全な安全文化の育成及び維持の状況（内部監査による安全文化の育成及び維持の取組み状況に係る評価の結果並びに管理者による安全文化についての弱点のある分野及び強化すべき分野に係る自己評価の結果を含む。）
- (7) 関係法令の遵守状況
- (8) 不適合並びに是正処置及び未然防止処置の状況（組織の内外で得られた知見（技術的な進歩により得られたものを含む。）
- (9) 従前のマネジメントレビューの結果を受けて講じた措置
- (10) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼすおそれのある変更
- (11) 部門又は要員からの改善のための提案
- (12) 資源の妥当性
- (13) 品質管理活動の改善のために講じた措置（品質方針に影響を与えるおそれのある組織の内部及び外部の課題を明確にし、当該課題に取り組むことを含む。）の実効性

7.3.12 マネジメントレビューの結果を受けて行う措置

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、マネジメントレビューの結果を受けて、少なくとも次に掲げる事項について決定する。
 - (a) 品質マネジメントシステム及びプロセスの実効性の維持に必要な改善。これには、改善の機会を得て実施される組織の業務遂行能力を向上させるための活動も含まれる。
 - (b) 個別業務に関する計画及び個別業務の実施に関連する品質管理活動の改善
 - (c) 品質マネジメントシステムの実効性の維持及び継続的な改善のために必要な資源
 - (d) 健全な安全文化の育成及び維持に関する改善（安全文化についての弱点のある分野及び強化すべき分野が確認された場合における改善策の検討を含む。）
 - (e) 関係法令の遵守に関する改善
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、マネジメントレビューの結果の記録を作成し、これを管理する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、(1)の決定をした事項について、必要な措置を講ずる。

7.4 資源の管理

7.4.1 資源の確保

型式設計特定容器等の製造者等は、原子力の安全を確実なものにするために必要な次に掲げる資源を明確に定め、これを確保し、及び管理する（本項記載の項目を実施するために必要な資源を特定した上で、組織の内部で保持すべき資源と外部から調達できる資源を明確にし、それを定めることを含む。）。

- (1) 要員
- (2) 個別業務に必要な施設、設備及びサービスの体系（JIS Q 9001 の「インフラストラクチャ」をいう。）
- (3) 作業環境（作業場所の放射線量、温度、照度、狭小の程度等の作業に影響を及ぼす可能性がある事項を含む。）
- (4) その他必要な資源

7.4.2 インフラストラクチャ

型式設計特定容器等の製造者等は、原子力の安全の達成のために必要なインフラストラクチャを関連する手順書等にて明確にし、提供し、維持する。

7.4.3 作業環境

型式設計特定容器等の製造者等は、原子力の安全の達成のために必要な作業環境を関連する手順書等にて明確にし、運営管理する。この作業環境は、作業場所の放射線量を基本とし、異物管理や火気管理等の作業安全に関する事項及び温度、照度、狭小の程度等の作業に影響を及ぼす可能性のある事項を含める。

7.4.4 要員の力量の確保及び教育訓練

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務の実施に必要な技能及び経験を有し、意図した結果を達成するために必要な知識及び技能並びにそれを適用する能力（以下「力量」という。）が実証された者を要員に充てる。力量には、組織が必要とする技術的、人的及び組織的側面に関する知識を含む。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、要員の力量を確保するために、品質管理活動の重要度に応じて、次に掲げる業務を行う。
 - (a) 要員にどのような力量が必要かを明確に定める。
 - (b) 要員の力量を確保するために教育訓練その他の措置（必要な力量を有する要員を新たに配属又は採用することを含む。）を講ずる。
 - (c) 教育訓練その他の措置の実効性を評価すること。
 - (d) 要員が、自らの個別業務について次に掲げる事項を認識しているようにする。
 - 1) 品質目標の達成に向けた自らの貢献
 - 2) 品質マネジメントシステムの実効性を維持するための自らの貢献
 - 3) 原子力の安全に対する当該個別業務の重要性
 - (e) 要員の力量及び教育訓練その他の措置に係る記録を作成し、これを管理する。

7.5 個別業務に関する計画の策定及び個別業務の実施

7.5.1 個別業務に必要なプロセスの計画

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務に必要なプロセスについて、計画を策定するとともに、そのプロセスを確立する。この計画の策定においては、型式設計特定容器等の故障若しくは通常想定されない事象の発生又は業務が不適切に計画され、若しくは実行されたことにより起こり得る影響（7.2.1 項(2)(c)参照）を考慮する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項の計画と当該個別業務以外のプロセスに係る個別業務等要求事項との整合性を確保する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、プロセス及び組織の変更（累積的な影響が生じうるプロセス及び組織の軽微な変更を含む。）を含む個別業務に関する計画（以下「個別業務計画」という。）の策定又は変更を行うに当たり、次に掲げる事項を明確にする。
 - (a) 個別業務計画の策定又は変更の目的及び当該計画の策定又は変更により起こり得る結果
 - (b) 型式設計特定容器等又は個別業務に係る品質目標及び個別業務等要求事項
 - (c) 型式設計特定容器等又は個別業務に固有のプロセス、品質マネジメント文書及び資源
 - (d) 使用前事業者検査等、検証、妥当性確認及び監視測定並びにこれらの個別業務等要求事項への適合性を判定するための基準（以下「合否判定基準」という。）
 - (e) 個別業務に必要なプロセス及び当該プロセスを実施した結果が個別業務等要求事項に適合することを実証するために必要な記録
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、策定した個別業務計画を、その個別業務の作業方法に適したものとする。
- (5) 製作の手順や各種検査の方法（型式設計特定容器等の製造者として許可を受けた事項及び技術基準規則の要求事項に従い実施するものも含む。）については、品質マネジメントシステムに定められたプロセス等に基づき実施する。

7.5.2 個別業務等要求事項として明確にすべき事項

型式設計特定容器等の製造者等は、次に掲げる事項を個別業務等要求事項として明確に定める。

- (1) 型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者が明示してはいないものの、型式設計特定容器等又は個別業務に必要な要求事項
- (2) 関係法令
- (3) (2)に掲げるもののほか、型式設計特定容器等の製造者等が必要とする要求事項

7.5.3 個別業務等要求事項の審査

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施に当たり、あらかじめ、個別業務等要求事項の審査を実施する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項の審査を実施するに当たり、次に掲げる事項を確認する。
 - (a) 当該個別業務等要求事項が定められている。
 - (b) 当該個別業務等要求事項が、あらかじめ定められた個別業務等要求事項と相違する場合においては、その相違点が解明されている。
 - (c) 型式設計特定容器等の製造者等が、あらかじめ定められた個別業務等要求事項に適合するための能力を有している。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、第一項の審査の結果の記録及び当該審査の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務等要求事項が変更された場合においては、関連する文書が改訂されるようにするとともに、関連する要員に対し変更後の個別業務等要求事項が周知されるようにする。

7.5.4 組織の外部の者との情報の伝達等

型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者からの情報の収集及び型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者への情報の伝達のために、実効性のある方法を明確に定め、これを実施するため以下を含める。

- ・組織の外部の者と効果的に連絡し、適切に情報を通知する方法
- ・予期せぬ事態における組織の外部の者との時宜を得た効果的な連絡方法
- ・原子力の安全に関連する必要な情報を組織の外部の者に確実に提供する方法
- ・原子力の安全に関連する組織の外部の者の懸念や期待を把握し、意思決定において適切に考慮する方法

7.5.5 設計開発計画

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発(型式設計特定容器等の製造者等において用いるための設計開発に限る。)の計画(以下「設計開発計画」という。)を策定するとともに、設計開発を管理する。この設計開発は、設備、施設、ソフトウェアの設計開発並びに原子力安全のための重要な手順書等の新規制定及び重要な変更を対象とする。また、計画には、不適合及び予期せぬ事象の発生を未然に防止するための活動7.2.1項(2)(c)参照の事項を考慮して行うものを含める。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発計画の策定において、次に掲げる事項を明確にする。
 - (a) 設計開発の性質、期間及び複雑さの程度

- (b) 設計開発の各段階における適切な審査，検証及び妥当性確認の方法並びに管理体制
 - (c) 設計開発に係る部門及び要員の責任及び権限
 - (d) 設計開発に必要な組織の内部及び外部の資源
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は，実効性のある情報の伝達並びに責任及び権限の明確な割当てがなされるようにするために，設計開発に関与する各者間の連絡を管理する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は，第一項の規定により策定された設計開発計画を，設計開発の進行に応じて適切に変更する。

7.5.6 設計開発に用いる情報

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は，個別業務等要求事項として設計開発に用いる情報であって，次に掲げるものを明確に定めるとともに，当該情報に係る記録を作成し，これを管理する。
- (a) 機能及び性能に係る要求事項
 - (b) 従前の類似した設計開発から得られた情報であって，当該設計開発に用いる情報として適用可能なもの
 - (c) 関係法令
 - (d) その他設計開発に必要な要求事項
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は，設計開発に用いる情報について，その妥当性を評価し，承認する。

7.5.7 設計開発の結果に係る情報

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は，設計開発の結果に係る情報を，設計開発に用いた情報と対比して検証することができる形式により管理する（例えば，機器等の仕様又はソフトウェアをいう。）。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は，設計開発の次の段階のプロセスに進むに当たり，あらかじめ，当該設計開発の結果に係る情報を承認する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は，設計開発の結果に係る情報を，次に掲げる事項に適合するものとする。
- (a) 設計開発に係る個別業務等要求事項に適合する。
 - (b) 調達，型式設計特定容器等の使用及び個別業務の実施のために適切な情報を提供するものである。
 - (c) 合否判定基準を含むものである。
 - (d) 型式設計特定容器等を安全かつ適正に製造及び使用するために不可欠な当該型式設計特定容器等の特性が明確である。

7.5.8 設計開発のレビュー

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発の適切な段階において、設計開発計画に従って、次に掲げる事項を目的とした体系的な審査（以下「設計開発レビュー」という。）を実施する。
 - (a) 設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性について評価する。
 - (b) 設計開発に問題がある場合においては、当該問題の内容を明確にし、必要な措置を提案する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発レビューに、当該設計開発レビューの対象となっている設計開発段階に関連する部門の代表者及び当該設計開発に係る専門家を参加させる。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発レビューの結果の記録及び当該設計開発レビューの結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

7.5.9 設計開発の検証

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発の結果が個別業務等要求事項に適合している状態を確保するために、設計開発計画に従って検証を実施する（設計開発計画に従ってプロセスの次の段階に移行する前に、当該設計開発に係る個別業務等要求事項への適合性の確認を行うことを含む。）。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、(1)の検証の結果の記録及び当該検証の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、当該設計開発を行った要員に第一項の検証をさせない。

7.5.10 設計開発の妥当性確認

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性を確認するために、設計開発計画に従って、当該設計開発の妥当性確認（以下「設計開発妥当性確認」という。）を実施する（機器等の設置後でなければ妥当性確認を行うことができない場合において、当該機器等の使用を開始する前に、設計開発妥当性確認を行うことを含む。）。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施に当たり、あらかじめ、設計開発妥当性確認を完了する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発妥当性確認の結果の記録及び当該設計開発妥当性確認の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。

7.5.11 設計開発の変更の管理

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発の変更を行った場合においては、当該変更の内容を識別することができるようにするとともに、当該変更に係る記録を作成し、これを管理する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、設計開発の変更を行うに当たり、あらかじめ、審査、検証及び妥当性確認を行い、変更を承認する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、(2)の審査において、設計開発の変更が型式設計特定容器等に及ぼす影響の評価（当該型式設計特定容器等を構成する材料又は部品に及ぼす影響の評価を含む。）を行う。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、(2)の審査、検証及び妥当性確認の結果の記録及びその結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理しなければならない。

7.5.12 調達プロセス

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達する物品又は役務（以下「調達物品等」という。）が、自ら規定する調達物品等に係る要求事項（以下「調達物品等要求事項」という。）に適合するようにする。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理活動の重要度に応じて、調達物品等の供給者及び調達物品等に適用される管理の方法及び程度を定めなければならない。この場合において、一般産業用工業品については、調達物品等の供給者等から必要な情報を入手し当該一般産業用工業品が調達物品等要求事項に適合していることを確認できるように、管理の方法及び程度を定める（力量を有する者を組織の外部から確保する際に、外部への業務委託の範囲を品質マネジメント文書に明確に定めることを含む。また、調達物品等が調達物品等要求事項に適合していることを確認する適切な方法（機器単位の検証、調達物品等の妥当性確認等の方法）を含む。）。なお、一般産業用工業品については、例えば、次のように原子力事業者等が当該一般産業用工業品に関する技術的な評価を行うことをいう。
 - ・採用しようとする一般産業用工業品の技術情報を供給者等から入手し、原子力事業者等が当該一般産業用工業品の技術的な評価を行うこと。
 - ・一般産業用工業品を設置しようとする環境等の情報を供給者等に提供し、供給者等に当該一般産業用工業品の技術的な評価を行わせること。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等要求事項に従い、調達物品等を供給する能力を根拠として調達物品等の供給者を評価し、選定する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等の供給者の評価及び選定に係る判定基準を定める。

- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、(3)の評価の結果の記録及び当該評価の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。
- (6) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等を調達する場合には、個別業務計画において、適切な調達の実施に必要な事項（当該調達物品等の調達後におけるこれらの維持又は運用に必要な技術情報（型式設計特定容器等の品質管理に係るものに限る。）の取得及び当該情報を他の型式設計特定容器等の製造者等と共有するために必要な措置に関する事項を含む。）を定める。

7.5.13 調達物品等要求事項

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等に関する情報に、次に掲げる調達物品等要求事項のうち、該当するものを含める。
 - (a) 調達物品等の供給者の業務のプロセス及び設備に係る要求事項
 - (b) 調達物品等の供給者の要員の力量に係る要求事項
 - (c) 調達物品等の供給者の品質マネジメントシステムに係る要求事項
 - (d) 調達物品等の不適合の報告（偽造品又は模造品を含む。）及び処理に係る要求事項
 - (e) 調達物品等の供給者が健全な安全文化を育成し、及び維持するために必要な要求事項
 - (f) 一般産業用工業品を型式設計特定容器等に使用するに当たっての評価に必要な要求事項
 - (g) その他調達物品等に必要な要求事項
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等要求事項として、型式設計特定容器等の製造者等が調達物品等の供給者の工場等においてプロセスの確認、検証、妥当性確認及び使用前事業者検査等その他の個別業務を行う際の原子力規制委員会の職員による当該工場等への立入りに関することを含める。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等の供給者に対し調達物品等に関する情報を提供するに当たり、あらかじめ、当該調達物品等要求事項の妥当性を確認する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等を受領する場合には、調達物品等の供給者に対し、調達物品等要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。

7.5.14 調達物品等の検証

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等が調達物品等要求事項に適合しているようにするために必要な検証の方法を定め、実施する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、調達物品等の供給者の工場等において調達物品等の検証を実施することとしたときは、当該検証の実施要領及び調達物品等の供給

者からの出荷の可否の決定の方法について調達物品等要求事項の中で明確に定める。

7.5.15 個別業務の管理

型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務計画に基づき、個別業務を次に掲げる事項（当該個別業務の内容等から該当しないと認められるものを除く。）に適合するように実施する。

- (1) 品質管理活動のために必要な情報が利用できる体制にする。
 - (a) 品質管理のために使用する型式設計特定容器等又は実施する個別業務の特性
 - (b) 当該型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施により達成すべき結果
- (2) 手順書等が必要な時に利用できる体制にする。
- (3) 当該個別業務に見合う設備を使用している。
- (4) 監視測定のための設備が利用できる体制にあり、かつ、当該設備を使用している。
- (5) 7.6.4 項の規定に基づき監視測定を実施していること。
- (6) この規則の規定に基づき、プロセスの次の段階に進むことの承認を行っている。

なお、型式設計特定容器等の製造者として許可を受けた事項及び技術基準規則の要求事項に従い実施する、製作の手順や各種検査の方法についても、本項及び品質マネジメントシステムに定められたプロセス等に基づく。

7.5.16 個別業務の実施に係るプロセスの妥当性確認

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務の実施に係るプロセスについて、それ以降の監視測定では当該プロセスの結果を検証することができない場合（個別業務が実施された後にのみ不適合その他の事象が明確になる場合を含む。）においては、妥当性確認を行う。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項のプロセスが個別業務計画に定めた結果を得ることができることを、同項の妥当性確認によって実証する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、妥当性確認を行った場合は、その結果の記録を作成し、これを管理する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、第一項の妥当性確認の対象とされたプロセスについて、次に掲げる事項（当該プロセスの内容等から該当しないと認められるものを除く。）を明確にする。
 - (a) 当該プロセスの審査及び承認のための判定基準
 - (b) 妥当性確認に用いる設備の承認及び要員の力量を確認する方法
 - (c) 妥当性確認の方法（対象となる個別業務計画の変更時の再確認及び一定期間が経過した後に行う定期的な再確認を含む。）

7.5.17 識別管理及びトレーサビリティの確保

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務計画及び個別業務の実施に係るすべてのプロセスにおいて、適切な手段（札の貼り付け、個別業務の管理等）により、型式設計特定容器等及び個別業務の状態を識別し、管理する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、トレーサビリティ（型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施に係る履歴、適用又は所在を追跡できる状態をいう。）の確保が個別業務等要求事項である場合においては、型式設計特定容器等又は個別業務を識別し、これを記録するとともに、当該記録を管理する。

7.5.18 型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者の物品

型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者の物品（JIS Q 9001の顧客又は外部提供者の所有物を含む。）を所持している場合においては、必要に応じ、記録を作成し、これを管理する。

7.5.19 調達物品の管理

型式設計特定容器等の製造者等は、調達した物品が使用されるまでの間、当該物品を調達物品等要求事項に適合するように管理（識別表示、取扱い、包装、保管及び保護を含む。）する。

7.5.20 監視測定のための設備の管理

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等又は個別業務の個別業務等要求事項への適合性の実証に必要な監視測定及び当該監視測定のための設備を明確に定める。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、上記の監視測定について、実施可能であり、かつ、当該監視測定に係る要求事項と整合性のとれた方法で実施する。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定の結果の妥当性を確保するために、監視測定のために必要な設備を、次に掲げる事項に適合するものとする。
 - (a) あらかじめ定められた間隔で、又は使用の前に、計量の標準まで追跡することが可能な方法（当該計量の標準が存在しない場合にあっては、校正又は検証の根拠について記録する方法）により校正又は検証がなされている。
 - (b) 校正の状態が明確になるよう、識別されている。
 - (c) 所要の調整がなされている。
 - (d) 監視測定の結果を無効とする操作から保護されている。
 - (e) 取扱い、維持及び保管の間、損傷及び劣化から保護されている。

- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定のための設備に係る要求事項への不適合が判明した場合においては、従前の監視測定の結果の妥当性を評価し、これを記録する。
- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、上記の場合において、当該監視測定のための設備及び上記の不適合により影響を受けた型式設計特定容器等又は個別業務について、適切な措置を講じる。
- (6) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定のための設備の校正及び検証の結果の記録を作成し、これを管理する。
- (7) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定においてソフトウェアを使用することとしたときは、その初回の使用に当たり、あらかじめ、当該ソフトウェアが意図したとおりに当該監視測定に適用されていることを確認する。

7.6 評価及び改善

7.6.1 監視測定、分析、評価及び改善

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定、分析、評価及び改善に係るプロセスを計画し、実施する。このプロセスには、取組むべき改善に係る部門の管理者等の要員を含め、組織が当該改善の必要性、方針、方法等について検討するプロセスを含める。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、要員が前項の監視測定の結果を利用できるようにする。

7.6.2 組織の外部の者の意見

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、監視測定の一環として、原子力の安全の確保に対する型式設計特定容器等の使用者その他の外部の者の意見を把握する。外部の者の意見の把握には、外部監査の結果、原子力規制委員会の指摘等を含める。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項の意見の把握及び当該意見の反映に係る方法を明確に定める。

7.6.3 内部監査

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステムについて、次に掲げる要件への適合性を確認するために、品質管理活動の重要度に応じて、あらかじめ定められた間隔で、客観的な評価を行う部門その他の体制により内部監査を実施する。内部監査の実施に際し、重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置が要求されていない型式設計特定容器等においては、内部監査の対象に関与していない要員に実施させることができる。
- (a) 本章の規定に基づく品質マネジメントシステムに係る要求事項

(b) 実効性のある実施及び実効性の維持

- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査の判定基準、監査範囲、頻度、方法及び責任を定める。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査の対象となり得る部門、個別業務、プロセスその他の領域（以下「領域」という。）の状態及び重要性並びに従前の監査の結果を考慮して内部監査の対象を選定し、かつ、内部監査の実施に関する計画（以下「内部監査実施計画」という。）を策定し、及び実施することにより、内部監査の実効性を維持する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査を行う要員（以下「内部監査員」という。）の選定及び内部監査の実施においては、客観性及び公平性を確保する。
- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査員又は管理者に自らの個別業務又は管理下にある個別業務に関する内部監査をさせない。
- (6) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査実施計画の策定及び実施並びに内部監査結果の報告並びに記録の作成及び管理について、その責任及び権限並びに内部監査に係る要求事項を手順書等に定める。この責任及び権限には、必要に応じて内部監査員又は内部監査を実施した部門が取締役社長に直接報告する権限を含める。
- (7) 型式設計特定容器等の製造者等は、内部監査の対象として選定された領域に責任を有する管理者に内部監査結果を通知する。
- (8) 型式設計特定容器等の製造者等は、不適合が発見された場合には、前項の通知を受けた管理者に、不適合を除去するための措置及び是正処置を遅滞なく講じさせるとともに、当該措置の検証を行わせ、その結果を報告させる。

7.6.4 プロセスの監視測定

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、プロセスの監視測定を行う場合においては、当該プロセスの監視測定に見合う方法により、これを行う。監視測定の対象には、型式設計特定容器等及び品質管理活動に係る不適合についての弱点のある分野及び強化すべき分野等に関する情報を含める。また、監視及び測定の方法には、次の事項を含める。
 - (a) 監視及び測定の実施時期
 - (b) 監視及び測定の結果の分析及び評価の方法並びにその時期
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項の監視測定の実施に当たり、品質管理活動の重要度に応じて、品質管理活動指標を用いる。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、(1)の方法により、プロセスが7.3.5項及び7.5.1項の計画に定めた結果を得ることができることを実証する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、(1)の監視測定の結果に基づき、品質管理活動の改善のために、必要な措置を講ずる。

- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、7.3.5 項及び7.5.1 項の計画に定めた結果を得ることができない場合又は当該結果を得ることができないおそれがある場合においては、個別業務等要求事項への適合性を確保するために、当該プロセスの問題を特定し、当該問題に対して適切な措置を講ずる。

7.6.5 型式設計特定容器等の検査等

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、型式設計特定容器等に係る要求事項への適合性を検証するために、個別業務計画に従って、個別業務の実施に係るプロセスの適切な段階において、使用前事業者検査等又は自主検査等を実施する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、使用前事業者検査等又は自主検査等の結果に係る記録を作成し、これを管理する（必要に応じ、検査において使用した試験体や計測機器等に関する記録も含む。）。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、プロセスの次の段階に進むことの承認を行った要員を特定することができる記録を作成し、これを管理する。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務計画に基づく使用前事業者検査等又は自主検査等を支障なく完了するまでは、プロセスの次の段階に進むことの承認をしてはならない。ただし、当該承認の権限を持つ要員が、個別業務計画に定める手順により特に承認をする場合は、この限りでない。
- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質管理活動の重要度に応じて、使用前事業者検査等の独立性（使用前事業者検査等を実施する要員をその対象となる型式設計特定容器等を所管する部門に属する要員と部門を異にする要員（使用前事業者検査等を実施する要員と当該検査対象となる機器等を所管する部門に属する要員が、型式設計特定容器等の品質マネジメントシステム計画に記載の職務と照らし合わせ、別の部門に所属していることをいう。）とすることその他の方法により、使用前事業者検査等の中立性及び信頼性が損なわれないことをいう。）を確保する。なお、重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置が要求されていない型式設計特定容器等においては、当該使用前事業者検査等の対象となる機器等の工事（補修、取替え、改造等）又は点検に関与していない要員に使用前事業者検査等を実施させることができる。また、使用前事業者検査等を実施する要員が、当該検査等に必要な力量を持ち、適正な判定を行うに当たり、何人からも不当な影響を受けることなく、当該検査等を実施できる状況を確保する。
- (6) 7.6.5 項の規定については、自主検査等について準用する。この場合において、「部門を異にする要員」とあるのは「必要に応じて部門を異にする要員」と読み替えるものとする。

7.6.6 不適合の管理

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個別業務等要求事項に適合しない型式設計特定容器等が使用され、又は個別業務が実施されることがないように、当該型式設計特定容器等又は個別業務を特定し、これを管理する（不適合が確認された機器等又は個別業務が識別され、不適合の全てを管理する。）。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、不適合の処理に係る管理（不適合に関連する管理者に報告することを含む。）並びにそれに関連する責任及び権限を手順書等に定める。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、次に掲げる方法のいずれかにより、不適合を処理する。
 - (a) 発見された不適合を除去するための措置を講ずる。
 - (b) 不適合について、あらかじめ定められた手順により原子力の安全に及ぼす影響について評価し、型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施についての承認を行う（以下「特別採用」という。）。
 - (c) 型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施ができないようにするための措置を講ずる。
 - (d) 型式設計特定容器等の使用又は個別業務の実施後に発見した不適合については、その不適合による影響又は起こり得る影響に応じて適切な措置を講ずる。
- (4) 型式設計特定容器等の製造者等は、不適合の内容の記録及び当該不適合に対して講じた措置（特別採用を含む。）に係る記録を作成し、これを管理する。
- (5) 型式設計特定容器等の製造者等は、(3)(a)の措置を講じた場合においては、個別業務等要求事項への適合性を実証するための検証を行う。

7.6.7 データの分析及び評価

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステムが実効性のあるものであることを実証するため、及び当該品質マネジメントシステムの実効性の改善（品質マネジメントシステムの実効性に関するデータ分析の結果、課題や問題が確認されたプロセスを抽出し、当該プロセスの改良、変更等を行い、品質マネジメントシステムの実効性を改善することを含む。）の必要性を評価するために、適切なデータ（監視測定の結果から得られたデータ及びそれ以外の関連情報源からのデータを含む。）を明確にし、収集し、及び分析する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項のデータの分析及びこれに基づく評価を行い、次に掲げる事項に係る情報を得る。
 - (a) 型式設計特定容器等使用者その他の外部の者からの意見の傾向及び特徴その他分析により得られる知見
 - (b) 個別業務等要求事項への適合性

- (c) 型式設計特定容器等及びプロセスの特性及び傾向（是正処置を行う端緒となるものを含む。）また、不適合には至らない機器等及びプロセスの特性及び傾向から得られた情報に基づき、是正処置の必要性について検討する機会を得ることを含む。
- (d) 調達物品等の供給者の供給能力

7.6.8 継続的な改善

型式設計特定容器等の製造者等は、品質マネジメントシステムの継続的な改善（品質マネジメントシステムの実効性を向上させるための継続的な活動を含む。）を行うために、品質方針及び品質目標の設定、マネジメントレビュー及び内部監査の結果の活用、データの分析並びに是正処置及び未然防止処置の評価を通じて改善が必要な事項を明確にするとともに、当該改善の実施その他の措置を講ずる。

7.6.9 是正処置等

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、個々の不適合その他の事象が原子力の安全に及ぼす影響に応じて、次に掲げるところにより、速やかに適切な是正処置を講ずる。
 - (a) 是正処置を講ずる必要性について、次に掲げる手順により評価を行う。不適合その他の事象の分析には、以下の事項を含む。
 - ・情報の収集及び整理
 - ・技術的、人的及び組織的側面等の考慮
 - 1) 不適合その他の事象の分析及び当該不適合の原因の明確化
当該不適合の原因の明確化には、必要に応じて以下の事項を含める。
 - ・日常業務のマネジメント
 - ・安全文化の弱点のある分野及び強化すべき分野との関係を整理
 - 2) 類似の不適合その他の事象の有無又は当該類似の不適合その他の事象が発生する可能性の明確化
- (b) 必要な是正処置を明確にし、実施する。
- (c) 講じた全ての是正処置の実効性の評価を行う。
- (d) 必要に応じ、計画において決定した品質管理活動の改善のために講じた措置を変更する。
- (e) 必要に応じ、品質マネジメントシステムを変更する。
- (f) 原子力の安全に及ぼす影響の程度が大きい不適合（単独の事象では原子力の安全に及ぼす影響の程度は小さいが、同様の事象が繰り返し発生することにより、原子力の安全に及ぼす影響の程度が増大するおそれのあるものを含む。）に関して、根本的な原因を究明するために行う分析の手順を確立し、実施する。
- (g) 講じたすべての是正処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。

- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項各号に掲げる事項について、手順書等に定める。
- (3) 型式設計特定容器等の製造者等は、手順書等に基づき、複数の不適合その他の事象に係る情報から類似する事象に係る情報を抽出し、その分析を行い、当該類似の事象に共通する原因を明確にした上で、適切な措置を講ずる。

7.6.10 未然防止処置

- (1) 型式設計特定容器等の製造者等は、原子力施設その他の施設の品質管理活動等の知見を収集し、自らの組織で起こり得る不適合の重要性に応じて、次に掲げるところにより、適切な未然防止処置を講ずる。
 - (a) 起こり得る不適合及びその原因について調査する。
 - (b) 未然防止処置を講ずる必要性について評価する。
 - (c) 必要な未然防止処置を明確にし、実施する。
 - (d) 講じた全ての未然防止処置の実効性の評価を行う。
 - (e) 講じた全ての未然防止処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。
- (2) 型式設計特定容器等の製造者等は、前項各号に掲げる事項について、手順書等に定める。

8. 本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件

8.1 型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲

以下に示す条件により設計された型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設であること。

金属キャスクの設計貯蔵期間	60 年以下
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き
金属キャスクの固定方式	下部トランニオン固定
金属キャスクの全質量 (使用済燃料を含む。)	118.3 t 以下
金属キャスクの主要寸法	全長 約 5.4 m 外径 約 2.5 m
金属キャスク表面における線量当量率	2 mSv/h 以下
金属キャスク表面から 1 m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 $^{\circ}$ C 最高温度 45 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.40 G 鉛直方向 0.87 G

8.2 型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の条件

使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認しなければならない事項等の条件は以下のとおりとする。

- (1) HDP-69B(B)型を貯蔵した場合に使用済燃料貯蔵施設を設置する事業所周辺の線量が原子力規制委員会の定める線量限度を十分下回ること。
- (2) HDP-69B(B)型を貯蔵した場合に貯蔵区域における金属キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、前項に示したそれぞれの最高温度以下であること。
- (3) HDP-69B(B)型を使用した場合、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台が、前項に示した地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計であること。
- (4) 火災等、津波及び外部からの衝撃については、使用済燃料貯蔵施設で想定される条件において HDP-69B(B)型の基本的安全機能が損なわれないこと。

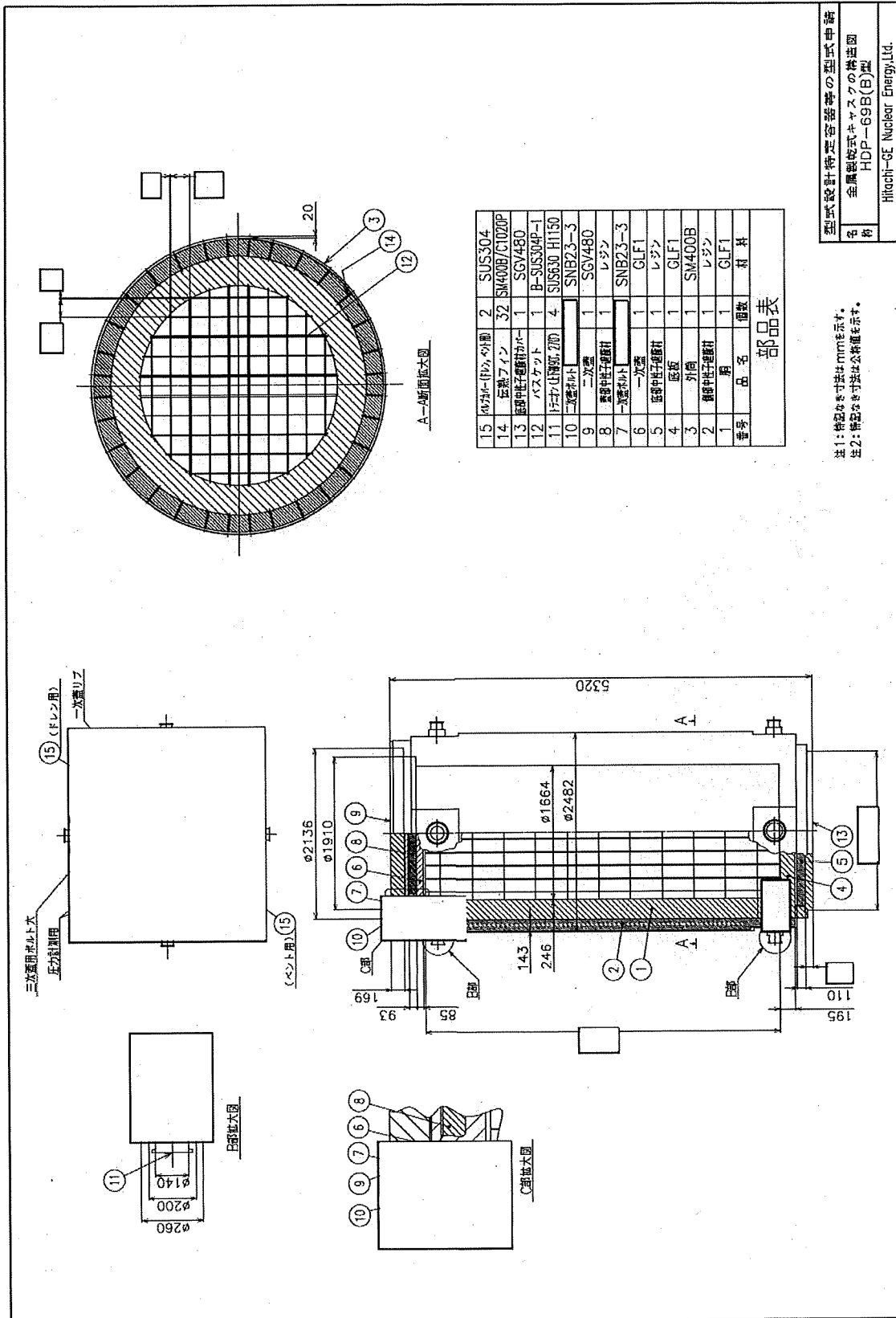
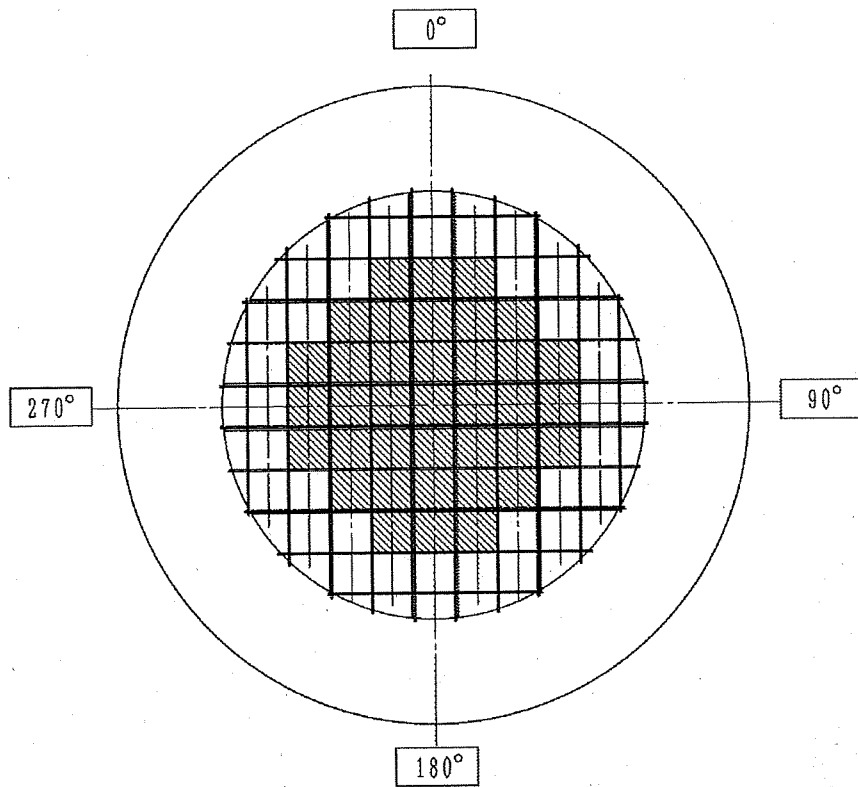


図1 HDP-69B(B)型の構造図

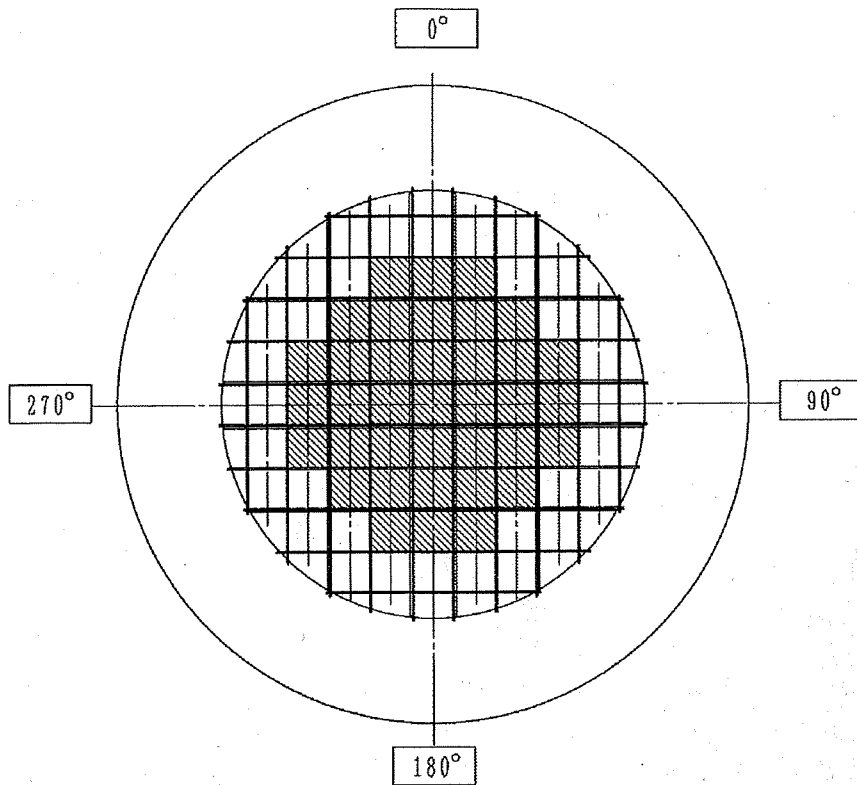
内は図案複製のため、非公開とします。



- | | |
|--|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> | <p>燃料種類 : 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
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上</p> |
| <div style="background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> | <p>燃料種類 : 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
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上</p> |

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW 以下

図 2 使用済燃料の収納位置条件(配置(i))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

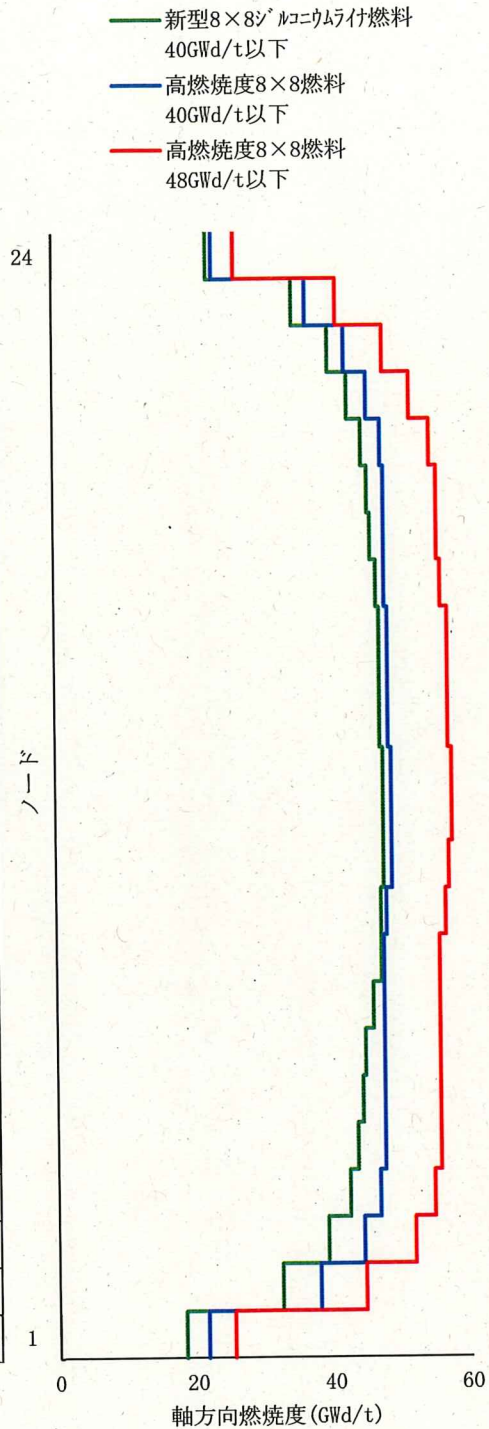


- | | | |
|---|------|-----------------------------------|
| □ | 燃料種類 | : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料 |
| | 収納体数 | : 32 体 |
| | 燃焼度 | : 40,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 22 年以上 |
| | | |
| ▨ | 燃料種類 | : 高燃焼度 8×8 燃料 |
| | 収納体数 | : 37 体 |
| | 燃焼度 | : 48,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 20 年以上 |

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

図3 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

燃料種類	新型 8×8 シリコニウム ラ付燃料	高燃焼度 8×8 燃料		
		40	48	
燃焼度 (GWd/t)	40	40	48	
ノード	軸方向燃焼度*1 (GWd/t)			
(上部)	24	22.40	23.20	26.40
	23	34.80	36.80	41.28
	22	40.00	42.40	48.00
	21	42.80	45.60	51.84
	20	44.80	47.60	54.72
	19	45.60	48.00	55.68
	18	46.00	48.00	55.68
	17	46.80	48.00	56.16
	16	47.20	48.40	57.12
	15	47.20	48.40	57.12
	14	47.20	48.40	57.12
	13	47.60	48.80	57.60
	12	47.60	48.80	57.60
	11	47.60	48.80	57.12
	10	47.20	48.00	56.64
	9	47.20	47.60	55.68
	8	46.00	47.60	55.68
	7	44.80	47.60	55.68
	6	44.40	47.60	55.68
5	43.60	47.60	55.68	
4	42.40	46.80	54.72	
3	39.20	44.40	51.84	
2	32.40	38.00	44.64	
(下部)	1	18.40	21.60	25.44



注記*1：配置(ii)に収納する燃料は軸方向燃焼度が本図の条件に包含されるものであることとする。

図4 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

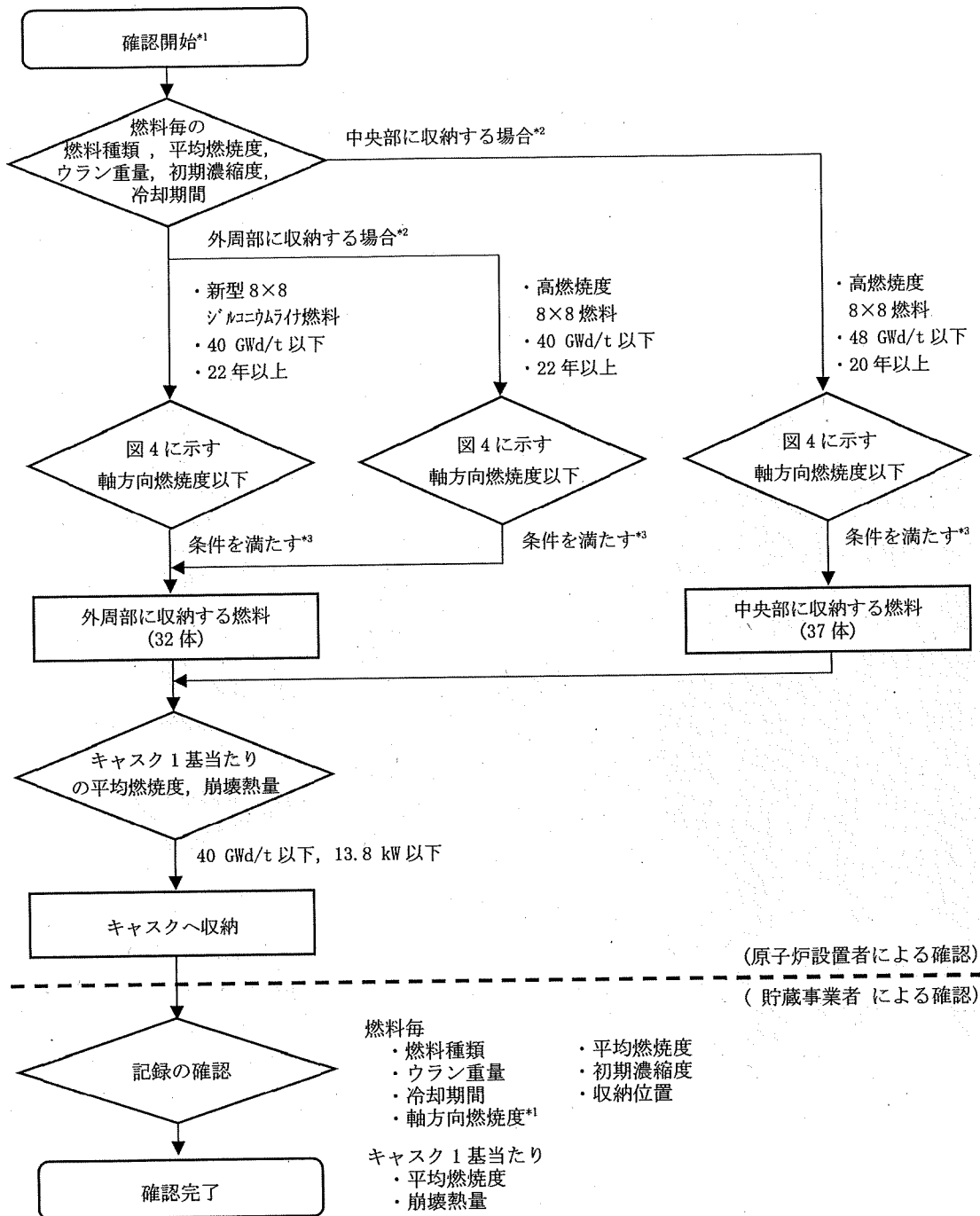
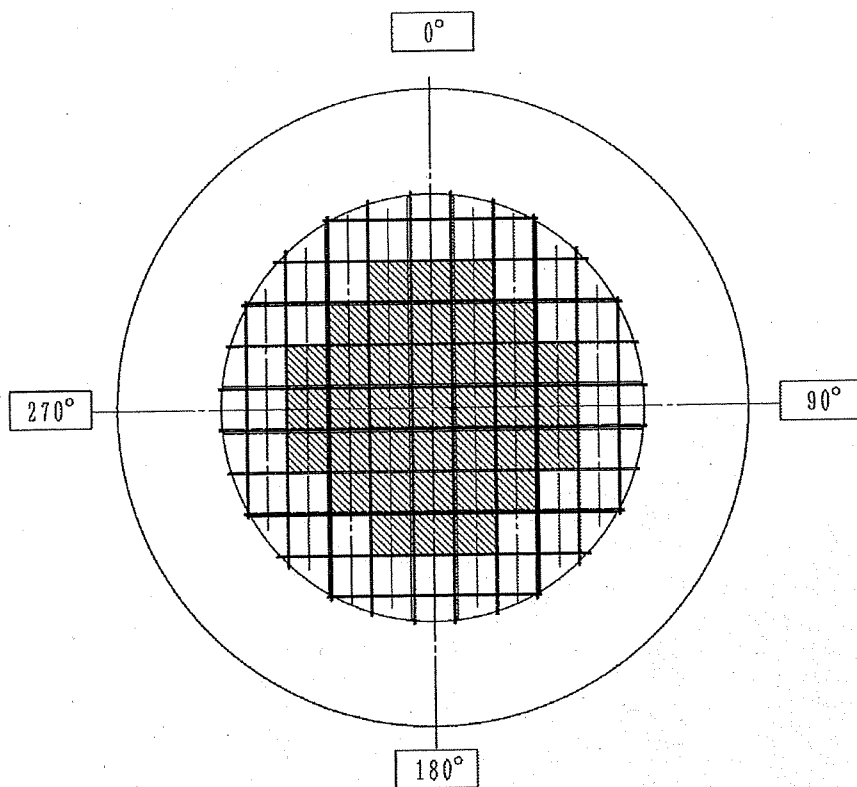


図5 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例



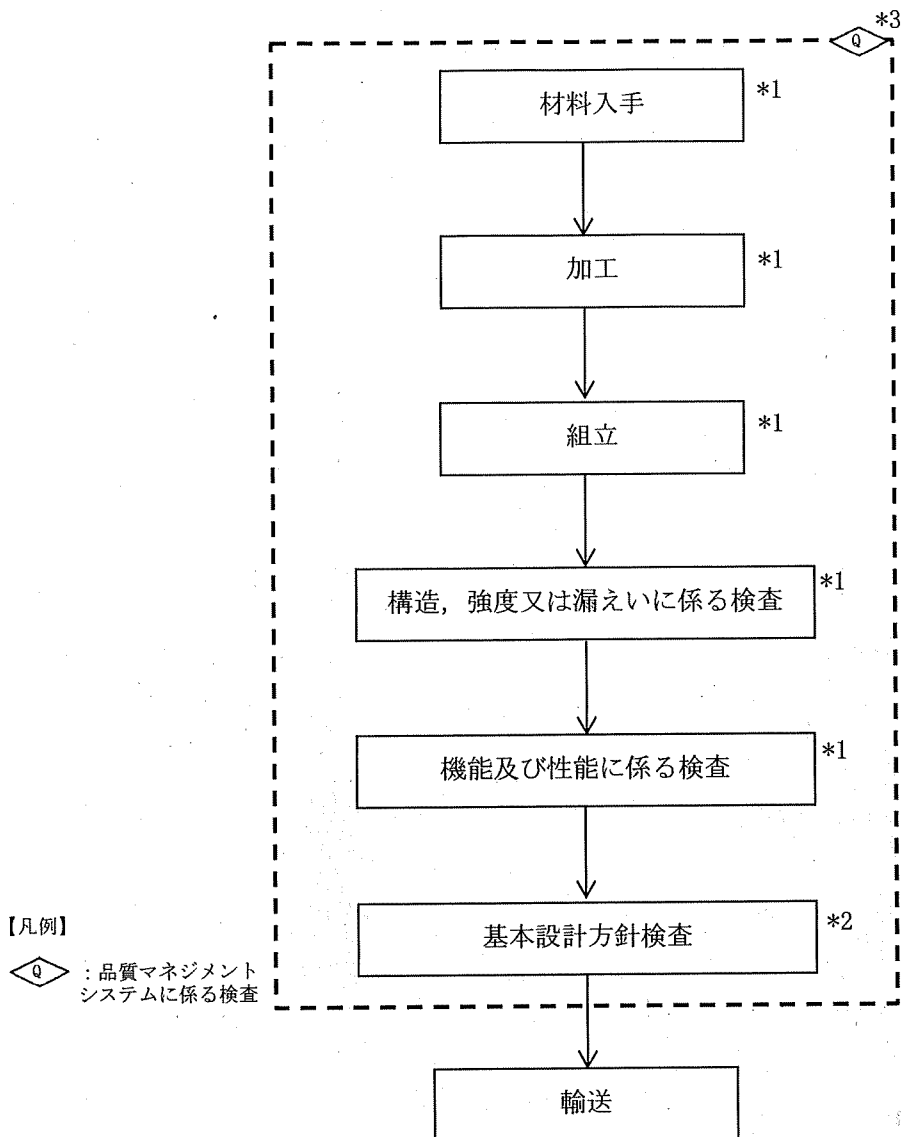
燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上



燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW 以下

図 6 使用済燃料の収納位置条件(配置(iii))
 (新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

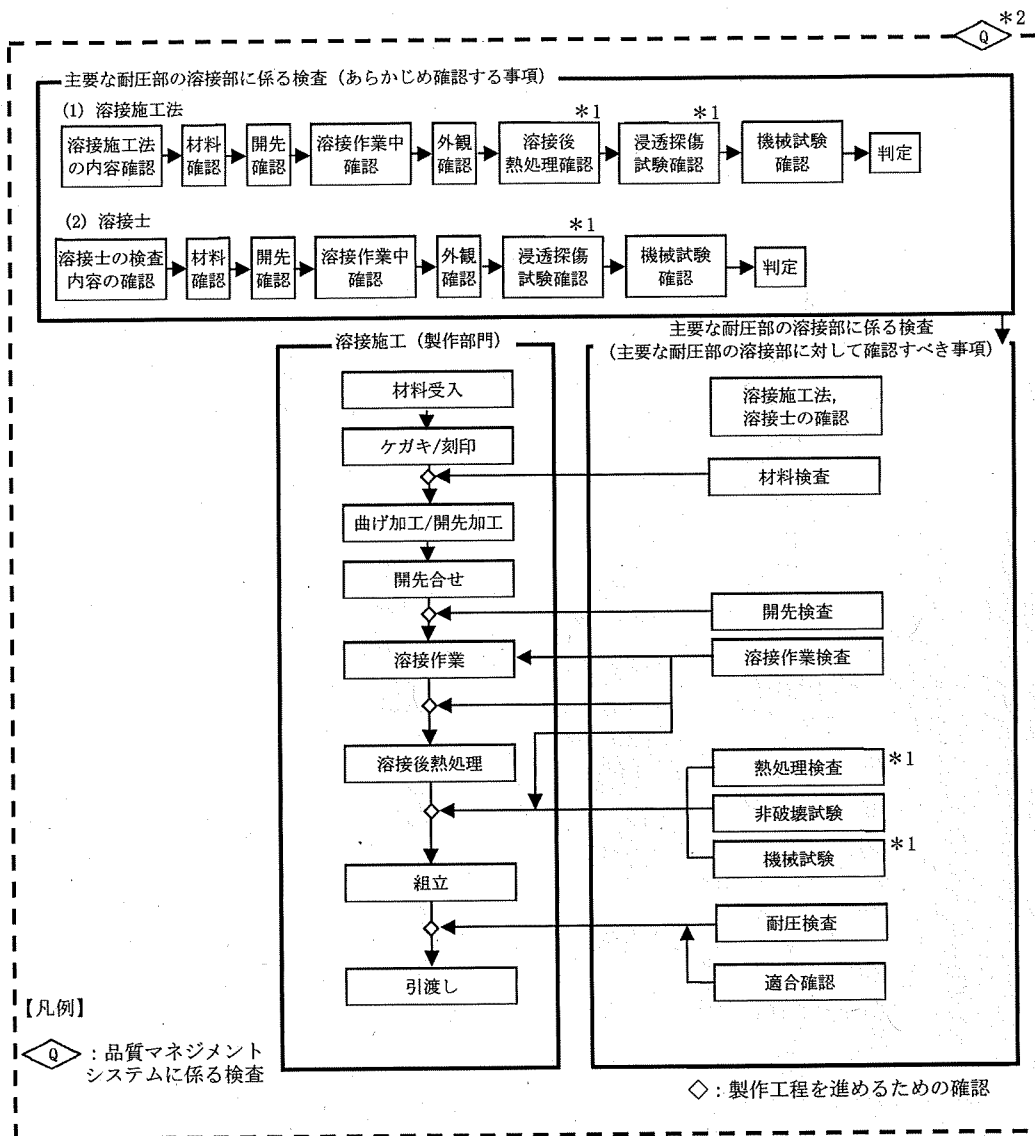


注記 *1: 検査については、使用済燃料貯蔵事業者において実施する使用前事業者検査を含め、型式設計特定容器の製造者として必要な検査を材料入手、加工及び組立の間で適切な時期に実施する。また、主要な耐圧部の溶接部に係る溶接施工は図8の製作の手順と検査のフローに従い実施する。

*2: 6.1節の「基本設計方針」のうち、表1で示す「構造、強度又は漏えいに係る検査」及び表5で示す「機能及び性能に係る検査」では確認できない事項について、表6に示す検査を適切な段階で実施する。

*3: 品質マネジメントシステムに係る検査は、製作期間等を考慮して適切な時期と頻度で実施する。

図7 HDP-69B(B)型の製作及び検査のフロー



注記 *1 : 熱処理検査, 機械試験等必要な場合のみ実施する。
 *2 : 品質マネジメントシステムに係る検査は, 製作期間等を考慮して適切な時期と頻度で実施する。

図 8 HDP-69B(B)型の主要な耐圧部の溶接部に係る製作の手順と検査のフロー

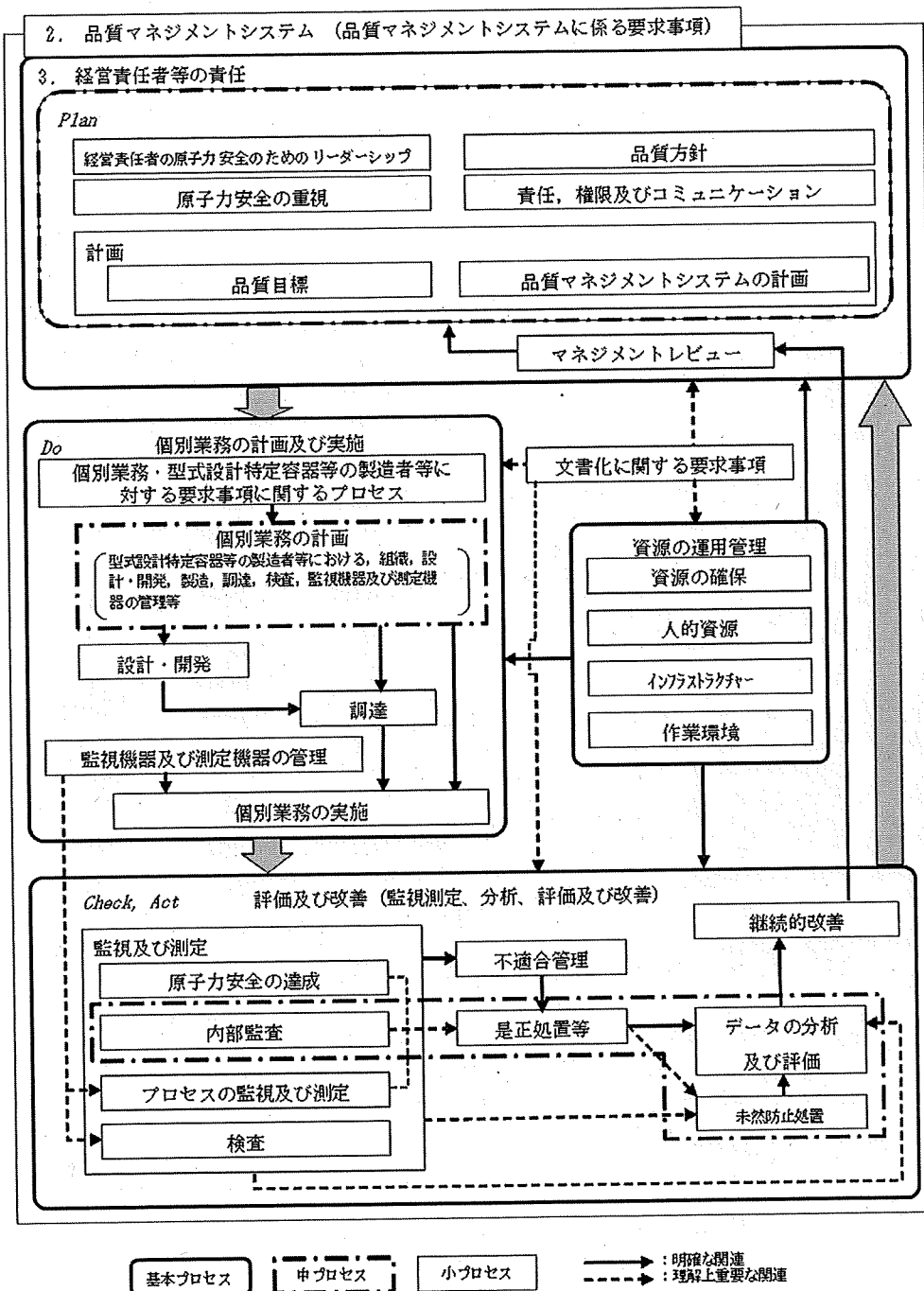


図9 品質マネジメントシステムのプロセス相関図

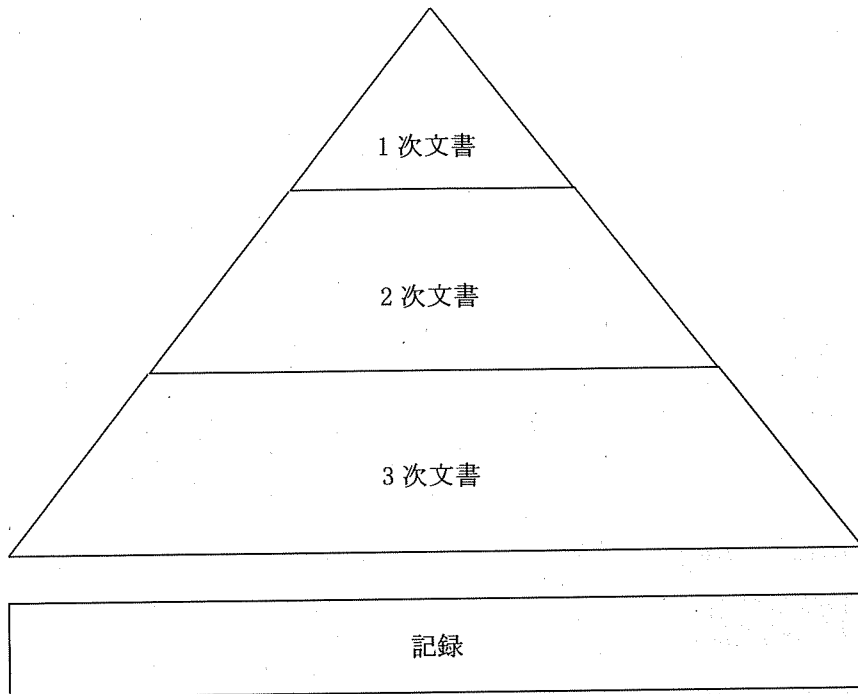


図 10 品質マネジメントシステムに係る文書体系図

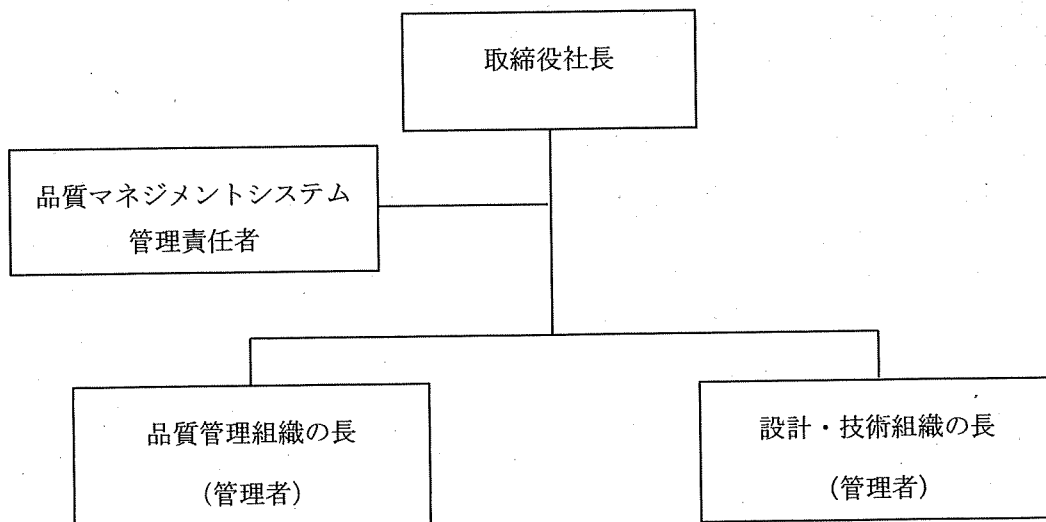


図 11 関連組織図

表1 構造, 強度又は漏えいに係る検査

検査項目*1	検査方法	判定基準
材料検査	材料メーカーで実施された検査の結果をミルシート等により確認する。	設計仕様のと通りの破壊じん性, 機械的強度及び化学的成分を有する材料であること。
寸法検査	主要寸法測定箇所を測定する。	設計仕様のと通りの寸法であること。
外観検査	各部の外観を目視検査する。	基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ, 傷, 変形又は損傷のないこと。
耐圧・漏えい検査	密封容器及びその溶接部に対して, 耐圧検査圧力で異常な変形及び著しい漏えいがないことを確認する。	異常な変形がないこと及び著しい漏えいがないこと。
吊上荷重検査	トラニオンに荷重を付加し, 異常がないことを確認する。	異常のないこと及び浸透探傷試験における判定基準を満足すること。
重量検査	金属キャスクの質量を計測する。	仕様書に定められた値以下であること。

注記*1: 各検査は, 全数又は抜取りにより実施されるものとする。

表2 あらかじめ確認すべき事項（溶接施工法）

検査項目	検査方法及び判定基準
溶接施工法の内容確認	計画している溶接施工法の内容が、技術基準規則に適合する方法であることを確認する。
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。
溶接作業中確認	溶接施工法及び溶接設備等が計画どおりのものであり、溶接条件等が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。
外観確認	試験材について、目視により外観が良好であることを確認する。
溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が技術基準規則に基づき計画した内容に適合していることを確認する。
浸透探傷試験確認	技術基準規則に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面における開口した欠陥の有無を確認する。
機械試験確認	溶接部の強度、延性及び靱性等の機械的性質を確認するため、継手引張試験、曲げ試験及び衝撃試験により溶接部の健全性を確認する。
(判定)*1	以上の全ての工程において、技術基準規則に適合していることが確認された場合、当該溶接施工法は技術基準規則に適合するものとする。

注記*1:()は検査項目ではない。

表3 あらかじめ確認すべき事項（溶接士）

検査項目	検査方法及び判定基準
溶接士の検査 内容確認	検査を受けようとする溶接士の氏名、溶接訓練歴等、及びその者が行う溶接施工法の範囲を確認する。
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。
溶接作業中 確認	溶接士及びその溶接士が行う溶接作業が溶接検査計画書のとおりであり、溶接条件が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。
外観確認	目視により外観が良好であることを確認する。
浸透探傷試験 確認	技術基準規則に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面における開口した欠陥の有無を確認する。
機械試験確認	曲げ試験を行い、欠陥の有無を確認する。
(判定) *1	以上の全ての工程において、技術基準規則に適合していることが確認された場合、当該溶接士は技術基準規則に適合する技能を持った者とする。

注記*1：() は検査項目ではない。

表4 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項

検査項目	検査方法及び判定基準
適用する溶接施工法、溶接士の確認	適用する溶接施工方法、溶接士について、表2及び表3に示す適合確認がなされていることを確認する。
材料検査	溶接に使用する材料が技術基準規則に適合するものであることを確認する。
開先検査	開先形状、開先面の清浄及び継手面の食違い等が技術基準規則に適合するものであることを確認する。
溶接作業検査	あらかじめの確認において、技術基準規則に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。
熱処理検査	溶接後熱処理の方法、熱処理設備の種類及び要領が、技術基準規則に適合するものであること、また、あらかじめの確認において技術基準規則に適合していることを確認した溶接施工法の範囲により実施しているかを確認する。
非破壊試験	溶接部について非破壊試験を行い、その試験方法及び結果が技術基準規則に適合するものであることを確認する。
機械試験	溶接部について機械試験を行い、当該溶接部の機械的性質が技術基準規則に適合するものであることを確認する。
耐圧検査	<p>規定圧力で耐圧検査を行い、これに耐え、かつ、漏えいがないことを確認する。規定圧力で行うことが著しく困難な場合は、可能な限り高い圧力で検査を実施し、耐圧検査の代替として非破壊試験を実施する。</p> <p>(外観の状況確認)</p> <p>溶接部の形状、外観及び寸法が技術基準規則に適合することを確認する。</p>
(適合確認) *1	以上の全ての工程において、技術基準規則に適合していることが確認された場合、当該溶接部は技術基準規則に適合するものとする。

注記*1:()は検査項目ではない。

表 5 機能及び性能に係る検査

検査項目*1	検査方法	判定基準
気密漏えい検査	金属キャスクのシール部におけるヘリウムリークテストにより漏えい率を測定する。	許容漏えい率を超えないこと。
遮蔽性能検査	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録を確認する。	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の基準を満足していること。
未臨界検査	バスケットの材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査を確認する。	臨界防止機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の合格基準を満足すること。
伝熱検査	代表キャスクについては、燃料集合体を模擬した電気ヒータに設計発熱量を模擬し、キャスク表面の温度を測定する。 代表キャスク以外については、除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録を確認する。	代表キャスクについては、周囲温度を 45 °C に補正したときに、バスケット温度及び胴内面の温度が最高使用温度以下であること。 代表キャスク以外については、除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の合格基準を満足すること。

注記*1：各検査は、全数又は抜取りにより実施されるものとする。

表6 基本設計方針検査

検査項目	検査方法	判定基準
基本設計方針検査	基本設計方針のうち、表1及び表5では確認できない事項について、基本設計方針に従い型式設計特定容器が製作されたことを製造中における適切な段階で確認する。	6.1項「基本設計方針」のとおりであること。

表7 品質マネジメントシステムに係る検査

検査項目	検査方法	判定基準
品質マネジメントシステムに係る検査	品質記録や聞き取り等により記録の信頼性が確保されていることを確認するとともに、管理要領やその遵守状況の確認により、品質マネジメントシステムに従ったプロセスとおりに実行されていることを確認する。	「7.申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」の内、購入仕様に係る範囲について、そのとおりであること。

表8 品質マネジメントシステム文書体系

	文書名
1次文書	品質マネジメントシステム計画書（品質方針（品質目標）を含む。）
2次文書	7.2.2 (1)に関する文書
	7.2.2 (4)として文書・記録に関する文書
	7.2.2 (4)として不適合管理、是正処置等及び未然防止処置に関する文書
3次文書	手順書、指示書

添付書類

添付書類目次

今回の申請に係る使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式指定申請書の添付書類は以下のとおりである。

添付書類 1 型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書

資料 1 に示すとおりである。

添付書類 2 使用済燃料の臨界防止に関する説明書

資料 2 に示すとおりである。

添付書類 3 放射線の遮蔽に関する説明書

資料 3 に示すとおりである。

添付書類 4 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書

資料 4 に示すとおりである。

添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書

資料 5 に示すとおりである。

添付書類 6 火災及び爆発の防止に関する説明書

資料 6 に示すとおりである。

添付書類 7 耐震性に関する説明書

資料 7 に示すとおりである。

添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書

資料 8 に示すとおりである。

添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書

資料 9 に示すとおりである。

添付書類 10 第 43 条の 2 の 7 の購入契約を締結している者にあつては当該契約書の写し
資料 10 に示すとおりである。

添付書類 11 申請に係る型式設計特定容器等の特定容器等型式証明通知書の写し
資料 11 に示すとおりである。

資料 1

添付書類 1

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 記載の基本事項	1
4. 型式証明を受けた設計との整合性	1

図表目次

表 1 型式証明を受けた設計との整合性	2
---------------------------	---

1. 概要

本書は、HDP-69B(B)型が「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和32年6月10日 法律第166号）（以下「原子炉等規制法」という。）第43条の26の2第1項の型式証明を受けた設計に基づいたものであることを説明するものである。

2. 基本方針

HDP-69B(B)型の設計が使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書（以下「型式証明申請書」という。）の基本方針に従った詳細設計であることを、型式証明申請書との整合性により示す。

型式証明申請書との整合性は、型式証明申請書「本文（四号）」及び「本文（五号）」について、型式指定申請書「本文」及び型式指定申請書「添付書類」の記載を比較することにより示す。

また、型式証明申請書「添付書類一」のうち「本文（四号）」及び「本文（五号）」に係る特定容器の設計方針及び設計条件を記載している箇所についても整合性を示す。

3. 記載の基本事項

- (1) 説明書の構成は比較表形式とし、左欄から型式証明申請書「本文」、型式証明申請書「添付書類一」、型式指定申請書、型式指定申請書「添付書類」及び整合性を記載する。
- (2) 説明書の記載順は、型式証明申請書「本文（四号）」及び「本文（五号）」に記載する順とする。
- (3) 型式証明申請書と型式指定申請書の記載が同等の箇所には、実線のアンダーライン又は囲み枠で明示する。表記等が異なる場合には破線のアンダーライン又は囲み枠で明示するとともに、型式指定申請の内容が型式証明申請と整合していることを明示する。

4. 型式証明を受けた設計との整合性

型式証明を受けた設計との整合性を表1に示す。

表1 型式証明を受けた設計との整合性(1/6)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>四 特定装置等の構造及び取組</p> <p>1. 構造</p> <p>10P-600(0)型は、耐火遮断、消火配水、消火水筒原子炉(以下「00P」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスク(以下「金属キャスク」という。)である。00P-600(0)型は、使用済燃料が漏洩に達することを防止する機能(以下「漏洩防止機能」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「放射線遮蔽」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び金属キャスクに取組まれた使用済燃料の崩壊生成物を除去するための必要な機能(以下「放射線遮蔽」という。))とといった安全性能を確保するために必要な機能(以下「基本的安全性能」という。)を有する構造とする。</p> <p>00P-600(0)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年6月10日法律第166号)及び「使用済燃料再処理施設等の技術基準に関する規則(令和2年2月17日原子力規制委員会規則第8号)以下「技術基準規則」という。)」等の関係法規の取組に基き、規格及び取組等によって設計する。</p> <p>四、 使用済燃料の漏洩防止に関する構造</p> <p>10P-600(0)型は、一次的なキャスク上の放射学的な配重、及び中性子を吸収する材料により、放射学的に規定されるいかなる場合においても、構造に達しないことを防止する構造とする。</p>	<p>2. 設計方針及び設計条件</p> <p>2.1 設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、設計期間中に、使用済燃料が漏洩に達することを防止する機能(以下「漏洩防止機能」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「放射線遮蔽」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び金属キャスクに取組まれた使用済燃料の崩壊生成物を除去するための必要な機能(以下「放射線遮蔽」という。))を有する構造とする。</p> <p>また、00P-600(0)型は、原則として、現行国内法規に基づき以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、規格の規格及び基準等による場合又は規格及び基準等、一般的でないものを適用する場合には、その規格及び基準等の取組の根拠、国内法規に基づき規格及び基準等の取組及び取組の取組等が明示される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本工業規格(JIS) ・日本核学会規格(JSNP) ・日本原子力学会標準(AESJ)等 <p>2.1.1 漏洩防止機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのキャスク構造、及びキャスクプレートを添付された中性子吸収材により漏洩に達することを防止する設計とする。</p> <p>また、10P-600(0)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの使用済燃料、及び10P-600(0)型に使用済燃料を収容する際の資本状態に0.95以下となるように設計する。</p> <p>ハズレ率、放射学的に規定されるいかなる場合でも、中性子放射線配重の幾何学的配置に維持するために必要な構造条件を併せて設計とする。</p> <p>2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料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、10P-600(0)型は、事業所内運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスクであるため、「核原料物質等の工場又は事業所の外における取組に際する規則(平成28年10月1日施行)」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大質量当量率が2 mSv/hを超えないこと。 ・表面から1 m離れた位置における最大質量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。 <p>さらに、設計期間中に、00P-600(0)型の中性子遮蔽材の要求事項の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。</p>	<p>6. 型式設計特定装置等の設計及び製作の方法の概要</p> <p>6.1 基本設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、耐火遮断、消火配水、消火水筒原子炉(以下「00P」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスク(以下「金属キャスク」という。)とする。00P-600(0)型は、使用済燃料が漏洩に達することを防止する機能(以下「漏洩防止機能」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「放射線遮蔽」という。)、金属キャスクに取組まれた使用済燃料を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。))及び金属キャスクに取組まれた使用済燃料の崩壊生成物を除去するための必要な機能(以下「放射線遮蔽」という。))を有する構造とする。</p> <p>また、00P-600(0)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年6月10日法律第166号)及び「使用済燃料再処理施設等の技術基準に関する規則(令和2年2月17日原子力規制委員会規則第8号)以下「技術基準規則」という。)」等の関係法規の取組に基き、規格及び取組等によって設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本工業規格(JIS) ・日本核学会規格(JSNP) ・日本原子力学会標準(AESJ)等 <p>6.1.1 漏洩防止機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのキャスク構造、及びキャスクプレートを添付された中性子吸収材により漏洩に達することを防止する設計とする。</p> <p>また、10P-600(0)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの使用済燃料、及び10P-600(0)型に使用済燃料を収容する際の資本状態に0.95以下となるように設計する。</p> <p>ハズレ率、放射学的に規定されるいかなる場合でも、中性子放射線配重の幾何学的配置に維持するために必要な構造条件を併せて設計とする。</p> <p>6.1.1.7 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材(鉛、外層及び鉛)及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、10P-600(0)型は、事業所内運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスクであるため、外層規則に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大質量当量率が2 mSv/hを超えないこと。 ・表面から1 m離れた位置における最大質量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。 <p>さらに、設計期間中に、00P-600(0)型の中性子遮蔽材の要求事項の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。</p>	<p>型式証明申請書「本文」第四分において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、外国の規格及び基準を00P-600(0)型の設計に適用しないため、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、国内規格の名称だけを更新しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、ハズレ率の幾何学的な配重及び中性子を吸収する材料に對する設計方針及び構造を具体的に記載しており、かつ、技術的に規定されるいかなる場合においても漏洩に達することを防止できる構造への設計方針を、00P-600(0)型の一連の使用状態と其の増倍率により具体的に記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「添付書類」に記載される、漏洩に関する設計方針について、関係法規の最新化を含め記載しており、整合している。</p>	
<p>ロ、 放射線の遮蔽に関する構造</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料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構造とする。</p>	<p>2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料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、10P-600(0)型は、事業所内運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスクであるため、「核原料物質等の工場又は事業所の外における取組に際する規則(平成28年10月1日施行)」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大質量当量率が2 mSv/hを超えないこと。 ・表面から1 m離れた位置における最大質量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。 <p>さらに、設計期間中に、00P-600(0)型の中性子遮蔽材の要求事項の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。</p>	<p>6.1.1.7 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p>10P-600(0)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材(鉛、外層及び鉛)及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、10P-600(0)型は、事業所内運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の形式キャスクであるため、外層規則に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大質量当量率が2 mSv/hを超えないこと。 ・表面から1 m離れた位置における最大質量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。 <p>さらに、設計期間中に、00P-600(0)型の中性子遮蔽材の要求事項の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。</p>	<p>添付書類3 放射線の遮蔽に関する説明書 (放射線の遮蔽に関する詳細な評価は、資料3に示すとおりである。)</p>	

表 1 型式証明を受けた設計との整合性(2/6)

型式証明申請書「添付書類」該当事項	型式証明申請書「本文」該当事項	型式証明申請書「添付書類」該当事項	型式証明申請書「本文」該当事項
<p>4. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 型式証明申請書「本文」に記載される、設計防漏期間を通じて、使用済燃料を収納する空間を不活性雰囲気と保つとともに負圧に維持する空間に対する設計方針を具体的に記載しており、整合している。</p>	<p>添付書類 4 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書 (使用済燃料等の閉じ込めに関する詳細な評価は、資料 4 に示すとおりである。)</p>	<p>6.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p> <p>なお、一次蒸の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蒸を取り付け、三次蒸の気密漏れ検査等理解に必要な措置を講じ、撤出できるように設計する。</p>	<p>6.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p> <p>なお、一次蒸の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蒸を取り付け、三次蒸の気密漏れ検査等理解に必要な措置を講じ、撤出できるように設計する。</p>
<p>5. 使用済燃料等の体熱に関する構造 IDP-698(0)型は、基本的な安全機能を維持する観点から、使用済燃料の明瞭な金属キヤスケ表面に伝え、周囲空間を冷却することにより、燃焼による危険性を低減している。</p>	<p>添付書類 5 使用済燃料等の体熱に関する説明書 (使用済燃料等の体熱に関する詳細な評価は、資料 5 に示すとおりである。)</p>	<p>6.1.4 除熱機能に関する設計方針 IDP-698(0)型は、使用済燃料の熱伝導性及び金属キヤスケの基本的な安全機能を有する構成要素の熱伝導率を維持するために、使用済燃料の温度を除去する設計とする。</p> <p>燃焼監視の観点から、燃焼監視管の冷却クリップ(角が1.5mm程度の鋭い端)は、燃焼監視管の周囲に設置し、燃焼監視管の熱伝導率を向上させ、燃焼監視管の周囲温度を低下させる。また、IDP-698(0)型の主要な金属構造材の温度は、基本的な安全機能を維持する観点から、以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新製 8×8 燃料: 200℃以下¹⁾ ・新製 8×8 Zr/Coニウムライナ燃料: 300℃以下²⁾ ・高純度 8×8 燃料: 300℃以下³⁾ ・中性子遮蔽材: 150℃ ・金属ガスケット: 130℃ ・バスケットプレート: 300℃以下⁴⁾ 	<p>6.1.4 除熱機能に関する設計方針 IDP-698(0)型は、使用済燃料の熱伝導性及び金属キヤスケの基本的な安全機能を有する構成要素の熱伝導率を維持するために、使用済燃料の温度を除去する設計とする。</p> <p>燃焼監視の観点から、燃焼監視管の冷却クリップ(角が1.5mm程度の鋭い端)は、燃焼監視管の周囲に設置し、燃焼監視管の熱伝導率を向上させ、燃焼監視管の周囲温度を低下させる。また、IDP-698(0)型の主要な金属構造材の温度は、基本的な安全機能を維持する観点から、以下の制限を設ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新製 8×8 燃料: 200℃以下¹⁾ ・新製 8×8 Zr/Coニウムライナ燃料: 300℃以下²⁾ ・高純度 8×8 燃料: 300℃以下³⁾ ・中性子遮蔽材: 150℃ ・金属ガスケット: 130℃ ・バスケットプレート: 300℃以下⁴⁾
<p>6. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>	<p>添付書類 6-5 金属キヤスケの剛性に関する説明書 1. 設計方針 IDP-698(0)型は、基本的な安全機能を維持するうえで重要な構成要素として、設計防漏期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での必要とされる強度、性能を維持できるように設計する。また、IDP-698(0)型は、金属キヤスケ本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等による変形を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キヤスケ本体及び蒸気発生器の必要腐食許容量は、設計による評価を要する。</p>	<p>6.1.5 材料及び構造 IDP-698(0)型は、設計防漏期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での必要とされる強度、性能を維持できるように設計する。また、IDP-698(0)型は、金属キヤスケ本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等による変形を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キヤスケ本体及び蒸気発生器の必要腐食許容量は、設計による評価を要する。</p> <p>6.1.5.1 材料について (1) 機械的強度及び化学的組成 (a) 容器等は、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的組成(使用中の成分がその他の使用条件に対する適切な化学的組成)を有する材料を使用する。</p>	<p>6. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>
<p>7. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>	<p>添付書類 7-5 金属キヤスケの剛性に関する説明書 1. 設計方針 IDP-698(0)型は、基本的な安全機能を維持するうえで重要な構成要素として、設計防漏期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での必要とされる強度、性能を維持できるように設計する。また、IDP-698(0)型は、金属キヤスケ本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等による変形を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キヤスケ本体及び蒸気発生器の必要腐食許容量は、設計による評価を要する。</p>	<p>6.1.6 長期健全性に関する設計方針 IDP-698(0)型は、設計防漏期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での必要とされる強度、性能を維持できるように設計する。また、IDP-698(0)型は、金属キヤスケ本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等による変形を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キヤスケ本体及び蒸気発生器の必要腐食許容量は、設計による評価を要する。</p>	<p>7. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>
<p>8. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>	<p>添付書類 8-5 金属キヤスケの剛性に関する説明書 1. 設計方針 IDP-698(0)型は、基本的な安全機能を維持するうえで重要な構成要素として、設計防漏期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での必要とされる強度、性能を維持できるように設計する。また、IDP-698(0)型は、金属キヤスケ本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等による変形を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キヤスケ本体及び蒸気発生器の必要腐食許容量は、設計による評価を要する。</p>	<p>6.1.6.1 材料について (1) 機械的強度及び化学的組成 (a) 容器等は、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的組成(使用中の成分がその他の使用条件に対する適切な化学的組成)を有する材料を使用する。</p>	<p>8. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造 IDP-698(0)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められる設計とする。また、IDP-698(0)型は、一次蒸及び二次蒸による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を金属キヤスケ外壁から隔離するとともに、蒸気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することができる設計とする。</p>

表1 型式証明を受けた設計との整合性(3/6)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類」	型式指定申請書「添付書類」	型式指定申請書「添付書類」
<p>(3) IIP-698(B)型は、三次蒸気を取り付けで輸送できる構造を有する設計とする。</p> <p>(4) IIP-698(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計とする。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、三次蒸気を取り付けで輸送できる構造を有する設計に対して、三次蒸気の有無を明確にする。また、IIP-698(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計とする。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>
<p>(5) IIP-698(B)型は、三次蒸気を取り付けで輸送できる構造を有する設計とする。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>
<p>(6) IIP-698(B)型は、三次蒸気を取り付けで輸送できる構造を有する設計とする。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、自重、内圧、外圧、熱荷重等の条件に対し、十分な安全性能を維持できる設計に対して、IIP-698(B)型の設計方針を具体的に示しており、整合している。</p>

表1 型式証明を受けた設計との整合性(4/6)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類」	型式証明申請書「本文」該当事項																																																																																										
<p>2. 主要な設備及び機器の種類 金属キヤスク</p> <p>種類 総液キヤスク(第一樹形燃焼体タイプ) 寸法 全長(φ) 約119.1 全径(φ) 約5.4 高さ 約2.5 外径 約13.8</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、総液キヤスク(第一樹形燃焼体タイプ)、全質量(使用済燃料を含む。)約119.1kg及び外径約2.5mに對して、IIP-69B(9)型各部の材質名、質量及び寸法を具体的に記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「添付書類」に對して、各部の材質名、取付体数、最大樹形燃焼、内部ガス、シール材及び閉じ込め装置方法を具体的に記載している。</p>	<p>型式証明申請書「本文」該当事項</p> <p>6.2 設計仕様 IIP-69B(9)型の設計仕様は、以下のとおりとする。また、IIP-69B(9)型の構造図を別に添付する。</p> <table border="1"> <tr> <td>型式</td> <td>IIP-69B(9)型</td> </tr> <tr> <td>容積</td> <td>69⁺ l</td> </tr> <tr> <td>最大樹形燃焼</td> <td>13.8⁺ φ</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>1.0 MPa</td> </tr> <tr> <td>金属キヤスク本体</td> <td>150 °C</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>200 °C</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>520 °C</td> </tr> <tr> <td>全質量</td> <td>242 kg</td> </tr> <tr> <td>外形寸法</td> <td>242 × 140 × 164 mm</td> </tr> <tr> <td>胴</td> <td>胴厚さ 246 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>底厚さ 195 mm</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>外径 242 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>厚さ 20 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>外径 260 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>厚さ 200 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>外径 140 mm</td> </tr> <tr> <td>トランニオン</td> <td></td> </tr> <tr> <td>胴</td> <td>胴厚さ 246 mm</td> </tr> <tr> <td>底厚さ</td> <td>195 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>242 mm</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td>20 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>260 mm</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>140 mm</td> </tr> </table> <p>主要寸法</p> <table border="1"> <tr> <td>胴</td> <td>胴厚さ</td> <td>246 mm</td> </tr> <tr> <td>底厚さ</td> <td>195 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>242 mm</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td>20 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>260 mm</td> </tr> <tr> <td>厚さ</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>140 mm</td> </tr> </table> <p>材料</p> <table border="1"> <tr> <td>外部</td> <td>筒</td> <td>SM400B</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材(環形、筒形)</td> <td>レジン</td> <td>SM400B及びC1020P</td> </tr> <tr> <td>伝熱フィン</td> <td>GLF1</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>一次遮蔽</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>二次遮蔽</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>トランニオン(上部、下部)</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>底座</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>シール材</td> <td>レジン</td> <td>レジン</td> </tr> </table> <p>注記*1: 寸法守法は、公称値を示す。</p>	型式	IIP-69B(9)型	容積	69 ⁺ l	最大樹形燃焼	13.8 ⁺ φ	最高使用圧力	1.0 MPa	金属キヤスク本体	150 °C	バスケット	200 °C	最高使用温度	520 °C	全質量	242 kg	外形寸法	242 × 140 × 164 mm	胴	胴厚さ 246 mm		底厚さ 195 mm	外筒	外径 242 mm		厚さ 20 mm		外径 260 mm		厚さ 200 mm		外径 140 mm	トランニオン		胴	胴厚さ 246 mm	底厚さ	195 mm	外径	242 mm	厚さ	20 mm	外径	260 mm	厚さ	200 mm	外径	140 mm	胴	胴厚さ	246 mm	底厚さ	195 mm	外径	242 mm	厚さ	20 mm	外径	260 mm	厚さ	200 mm	外径	140 mm	外部	筒	SM400B	中性子遮蔽材(環形、筒形)	レジン	SM400B及びC1020P	伝熱フィン	GLF1	レジン	一次遮蔽	レジン	レジン	二次遮蔽	レジン	レジン	バスケット	レジン	レジン	トランニオン(上部、下部)	レジン	レジン	底座	レジン	レジン	シール材	レジン	レジン
型式	IIP-69B(9)型																																																																																											
容積	69 ⁺ l																																																																																											
最大樹形燃焼	13.8 ⁺ φ																																																																																											
最高使用圧力	1.0 MPa																																																																																											
金属キヤスク本体	150 °C																																																																																											
バスケット	200 °C																																																																																											
最高使用温度	520 °C																																																																																											
全質量	242 kg																																																																																											
外形寸法	242 × 140 × 164 mm																																																																																											
胴	胴厚さ 246 mm																																																																																											
	底厚さ 195 mm																																																																																											
外筒	外径 242 mm																																																																																											
	厚さ 20 mm																																																																																											
	外径 260 mm																																																																																											
	厚さ 200 mm																																																																																											
	外径 140 mm																																																																																											
トランニオン																																																																																												
胴	胴厚さ 246 mm																																																																																											
底厚さ	195 mm																																																																																											
外径	242 mm																																																																																											
厚さ	20 mm																																																																																											
外径	260 mm																																																																																											
厚さ	200 mm																																																																																											
外径	140 mm																																																																																											
胴	胴厚さ	246 mm																																																																																										
底厚さ	195 mm																																																																																											
外径	242 mm																																																																																											
厚さ	20 mm																																																																																											
外径	260 mm																																																																																											
厚さ	200 mm																																																																																											
外径	140 mm																																																																																											
外部	筒	SM400B																																																																																										
中性子遮蔽材(環形、筒形)	レジン	SM400B及びC1020P																																																																																										
伝熱フィン	GLF1	レジン																																																																																										
一次遮蔽	レジン	レジン																																																																																										
二次遮蔽	レジン	レジン																																																																																										
バスケット	レジン	レジン																																																																																										
トランニオン(上部、下部)	レジン	レジン																																																																																										
底座	レジン	レジン																																																																																										
シール材	レジン	レジン																																																																																										
<p>型式証明申請書「添付書類」該当事項</p> <p>添付書類2 使用済燃料の漏洩防止に關する説明書 (使用済燃料の漏洩防止に關する詳細な評価は、資料2に示すとおりである。)</p> <p>添付書類3 放射線の遮蔽に關する説明書 (放射線の遮蔽に關する詳細な評価は、資料3に示すとおりである。)</p> <p>添付書類5 使用済燃料等の取扱いに關する説明書 (使用済燃料等の取扱いに關する詳細な評価は、資料5に示すとおりである。)</p> <p>添付書類8 耐圧強度及び耐食性に關する説明書 (耐圧強度及び耐食性に關する詳細な評価は、資料8に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明申請書「添付書類」該当事項</p> <p>型式証明申請書「本文」該当事項</p>	<p>型式証明申請書「本文」該当事項</p> <p>型式証明申請書「添付書類」該当事項</p>																																																																																										
<p>型式証明申請書「本文」</p>	<p>型式証明申請書「添付書類」</p>	<p>型式証明申請書「本文」該当事項</p>																																																																																										

内は商業機密のため、非公開とします。

表 1 型式証明を受けた設計との整合性(5/6)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類一」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項	整合性																																								
<p>3. 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類ごとの最大貯蔵能力</p> <p>4. 使用済燃料の種類 BWR 使用済燃料 新型 B×8 燃料 新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃度 B×8 燃料</p> <p>使用済燃料の種類に応じて取納する使用済燃料の燃焼度及び 冷却期間については以下のとおりとする。</p> <p>(1) 新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃度 B×8 燃料を 取納する場合</p> <p>配属(1) 取納する使用済燃料の最高燃度 40,000 MWd/t 以下 取納する使用済燃料の平均燃度 34,000 MWd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> <p>配属(2) 取納する使用済燃料の最高燃度 48,000 MWd/t 以下¹⁾ 取納する使用済燃料の平均燃度 40,000 MWd/t 以下¹⁾ 冷却期間 22 年以上¹⁾</p> <p>*1.1. 燃料の燃焼度が確認された使用済燃料を取納可能とする。 *2. 取納位置によっては冷却期間 20 年以上の使用済燃料を取納可能とする。</p> <p>(2) 新型 B×8 燃料のみを取納する場合 配属(3) 取納する使用済燃料の最高燃度 34,000 MWd/t 以下 取納する使用済燃料の平均燃度 29,000 MWd/t 以下 冷却期間 28 年以上</p> <p>なお、使用済燃料を BWR-698(9)型へ取納するに当たり、使用済燃料の燃焼度、取納する使用済燃料の燃焼度に応じて取納位置が制限される。</p> <p>ロ、最大貯蔵能力 金属ケース 1 基当たり貯蔵能力 BWR 使用済燃料 69 基 新型 B×8 燃料 13.8 基</p>	<p>表 1-2 使用済燃料の仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>新型 B×8 燃料</th> <th>新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料</th> <th>高燃度 B×8 燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>使用済燃料の種類</td> <td>新型 B×8 燃料</td> <td>新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料</td> <td>高燃度 B×8 燃料</td> </tr> <tr> <td>集合体幅 (mm)</td> <td>約 132 又は約 134</td> <td>約 132 又は約 134</td> <td>約 132 又は約 134</td> </tr> <tr> <td>全長 (mm)</td> <td>約 4,360 又は約 4,470</td> <td>約 4,360 又は約 4,470</td> <td>約 4,360 又は約 4,470</td> </tr> <tr> <td>質量 (kg)</td> <td>約 270</td> <td>約 270</td> <td>約 270</td> </tr> <tr> <td>初期燃度 (wt%)</td> <td>約 3.1 以下</td> <td>約 3.1 以下</td> <td>約 3.7 以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃度¹⁾ (MWd/t)</td> <td>34,000 以下</td> <td>40,000 以下</td> <td>48,000 以下</td> </tr> <tr> <td>平均燃度¹⁾ (MWd/t)</td> <td>以下</td> <td>以下</td> <td>以下</td> </tr> <tr> <td>最短冷却期間¹⁾ (年)</td> <td>28</td> <td>18</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>取納体数(体)</td> <td colspan="3">69</td> </tr> </tbody> </table> <p>注※1: 最高燃度とは、取納する燃料集合体 1 体の燃焼度の平均値の最大値を示す。 *2: 最短冷却期間とは、取納する燃料集合体の最短の冷却期間を示す。</p>	項目	新型 B×8 燃料	新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料	高燃度 B×8 燃料	使用済燃料の種類	新型 B×8 燃料	新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料	高燃度 B×8 燃料	集合体幅 (mm)	約 132 又は約 134	約 132 又は約 134	約 132 又は約 134	全長 (mm)	約 4,360 又は約 4,470	約 4,360 又は約 4,470	約 4,360 又は約 4,470	質量 (kg)	約 270	約 270	約 270	初期燃度 (wt%)	約 3.1 以下	約 3.1 以下	約 3.7 以下	最高燃度 ¹⁾ (MWd/t)	34,000 以下	40,000 以下	48,000 以下	平均燃度 ¹⁾ (MWd/t)	以下	以下	以下	最短冷却期間 ¹⁾ (年)	28	18	20	取納体数(体)	69			<p>*3: パスケット外装は、パスケットプレートと胴内面の間で支持する構造とするため、胴内径の寸法を示す。 *3: レジンの厚さは \square /mm とする。 *4: BWR-698(9)型全質量 (BWR 使用済燃料 69 体を平均) は、118.3 t 以下とする。(後略)</p> <p>6.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針 BWR-698(9)型は、使用済燃料等を貯蔵された区域に閉じ込められたため、設計冷却期間を通じて使用済燃料を貯蔵する空間を自由に維持する設計とする。BWR-698(9)型は、設計冷却期間を通じて使用済燃料を貯蔵する空間を自由に維持するための性能を有する。金属ケース上をシールド材として一次蒸と二次蒸による二重の閉じ込め構造とし、一次蒸と二次蒸の間(以下「蒸間」という。)を圧入に維持することにより、使用済燃料を取納する空間を金属ケース外部から隔離する設計とする。さらに、蒸間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可能な設計とする。</p> <p>なお、一次蒸の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蒸を取り付け、三次蒸の気密閉えい検査等適切な必要な措置を講じ、撤出できるように設計する。</p> <p>*5: 以下の燃料を取納する。 ・新型 B×8 燃料 ・新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料 ・高燃度 B×8 燃料</p> <p>使用済燃料の種類に応じて取納する使用済燃料の燃焼度及び冷却期間については以下のとおりとする。</p> <p>(1) 新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃度 B×8 燃料を取納する場合 配属(1) 取納する使用済燃料の最高燃度 40,000 MWd/t 以下 取納する使用済燃料の平均燃度 34,000 MWd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> <p>配属(2) 取納する使用済燃料の最高燃度 48,000 MWd/t 以下 取納する使用済燃料の平均燃度 40,000 MWd/t 以下 冷却期間 22 年以上</p> <p>(2) 新型 B×8 燃料のみを取納する場合 配属(3) 取納する使用済燃料の最高燃度 34,000 MWd/t 以下 取納する使用済燃料の平均燃度 29,000 MWd/t 以下 冷却期間 28 年以上</p> <p>BWR-698(9)型に取納する使用済燃料の取納位置条件を図 2、図 3、図 4 に示す。なお、図 4(注)に示すのは、燃料の燃焼度が図 4 に示す燃焼度を下回ることを前提条件として、燃焼度による使用済燃料を取納可能とする。配属(注)で取納する使用済燃料の燃焼度の確認等確認事項 5.2.2 の項を、図 4 に示す。</p>	<p>添付書類 4 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書 (使用済燃料等の閉じ込めに関する詳細な情報は、資料 4 に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明申請書「本文」に記載される、BWR-698(9)型で貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類ごとの最大貯蔵能力に対して、設計方針を同等に記載しており、設計方針を同等に記載している。また、取納する使用済燃料の種類及び燃焼度に応じて取納位置条件に対して、BWR-698(9)型の設計方針を具体的に記載しており、整合している。</p>
項目	新型 B×8 燃料	新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料	高燃度 B×8 燃料																																									
使用済燃料の種類	新型 B×8 燃料	新型 B×8 ジルコニウムライナ燃料	高燃度 B×8 燃料																																									
集合体幅 (mm)	約 132 又は約 134	約 132 又は約 134	約 132 又は約 134																																									
全長 (mm)	約 4,360 又は約 4,470	約 4,360 又は約 4,470	約 4,360 又は約 4,470																																									
質量 (kg)	約 270	約 270	約 270																																									
初期燃度 (wt%)	約 3.1 以下	約 3.1 以下	約 3.7 以下																																									
最高燃度 ¹⁾ (MWd/t)	34,000 以下	40,000 以下	48,000 以下																																									
平均燃度 ¹⁾ (MWd/t)	以下	以下	以下																																									
最短冷却期間 ¹⁾ (年)	28	18	20																																									
取納体数(体)	69																																											

表1 型式証明を受けた設計との整合性(6/6)

型式証明申請書「本文」	型式証明申請書「添付書類」該当事項	型式指定申請書「本文」該当事項	型式指定申請書「添付書類」該当事項
<p>五. 特定容器等を使用することができている範囲を限定し、又は条件を付する場合は、当該特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件</p> <p>1. 特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲 以下に示す条件により設計された金属キヤスクを使用することができている使用済燃料貯蔵施設であること。</p> <p>金属キヤスクの設計諸元 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢</p> <p>約119.1 全長 約5.4 m 外径 約3.5 m 100 μSv/h以下</p> <p>貯蔵区域における金属キヤスク周囲温度 最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃</p> <p>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度 最高温度 65℃ 水平方向 1.40℃ 鉛直方向 0.87℃</p>	<p>2.2 設計条件</p> <p>(1) IDP-698(B)型の設計条件 a. 設計貯蔵期間は60年とする。 b. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 c. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 d. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 e. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 f. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 g. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 h. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 i. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 j. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 k. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 l. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 m. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。 n. 金属キヤスクの貯蔵姿勢は、床面に固定された貯蔵姿勢とする。</p>	<p>8. 本型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件</p> <p>8.1 型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲 以下に示す条件により設計された型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設であること。</p> <p>60年以内 貯蔵建屋内 たて置き 下向き 下向き 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢</p> <p>119.1以上 全長 約5.4 m 外径 約3.5 m 2 mSv/h以下 100 μSv/h以下</p> <p>貯蔵区域における金属キヤスク周囲温度 最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃</p> <p>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度 最高温度 65℃ 水平方向 1.40℃ 鉛直方向 0.87℃</p>	<p>型式証明申請書「本文」第五号1. において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、金属キヤスクの全質量(使用済燃料を含む)約119.1に対して、IDP-698(B)型の全質量を具備して、IDP-698(B)型の設計諸元を具備して記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「添付書類」に記載される、IDP-698(B)型の設計諸元を具備して記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」第五号2. において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、IDP-698(B)型を使用済燃料貯蔵施設に貯蔵した場合、IDP-698(B)型が貯蔵施設に貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合している。</p>
<p>2. 特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の条件 使用済燃料貯蔵施設の事業(変更)許可申請時に別途確認しなければならぬ事項等の条件は以下のとおりである。</p> <p>イ. IDP-698(B)型に設計された貯蔵施設は、本申請の範囲外であること。</p> <p>ロ. 使用済燃料貯蔵施設の建設費は、本申請の範囲外であること。</p> <p>ハ. IDP-698(B)型が貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合していること。</p> <p>ニ. IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合していること。</p> <p>ホ. 本申請、建設及び外周からの衝撃については、使用済燃料貯蔵施設が設計された場合に、IDP-698(B)型の基本的な設計条件が満たされていること。</p> <p>ヘ. 使用済燃料貯蔵施設の設計最大貯蔵容量を決定し、設計最大貯蔵容量が設計された場合に、事業開始時の公衆に放射線量を及ぼさないこと。</p>	<p>8.2 型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の条件 使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認しなければならぬ事項等の条件は以下のとおりとする。</p> <p>(1) IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合していること。</p> <p>(2) IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合していること。</p> <p>(3) IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合していること。</p> <p>(4) 本申請、建設及び外周からの衝撃については、使用済燃料貯蔵施設が設計された場合に、IDP-698(B)型の基本的な設計条件が満たされていること。</p>	<p>8. 本型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件</p> <p>8.1 型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設の範囲 以下に示す条件により設計された型式設計特定容器等を使用することができている使用済燃料貯蔵施設であること。</p> <p>60年以内 貯蔵建屋内 たて置き 下向き 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢 金属キヤスクの貯蔵姿勢</p> <p>119.1以上 全長 約5.4 m 外径 約3.5 m 2 mSv/h以下 100 μSv/h以下</p> <p>貯蔵区域における金属キヤスク周囲温度 最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃</p> <p>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度 最高温度 65℃ 水平方向 1.40℃ 鉛直方向 0.87℃</p>	<p>型式証明申請書「本文」第五号1. において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、金属キヤスクの全質量(使用済燃料を含む)約119.1に対して、IDP-698(B)型の全質量を具備して、IDP-698(B)型の設計諸元を具備して記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「添付書類」に記載される、IDP-698(B)型の設計諸元を具備して記載しており、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」第五号2. において、型式指定申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、IDP-698(B)型を使用済燃料貯蔵施設に貯蔵した場合、IDP-698(B)型が貯蔵施設に貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合している。</p> <p>型式証明申請書「本文」に記載される、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度が、IDP-698(B)型が貯蔵された場合に、貯蔵施設に貯蔵された金属キヤスク周囲温度及び貯蔵建屋に貯蔵された金属キヤスク周囲温度に比べて、整合している。</p>

資料 2

添付書類 2

使用済燃料の臨界防止に関する説明書

目 次

1. 設計方針	1
2. 臨界防止設計	2

別紙 1 乾燥状態での HDP-69B (B) 型の臨界解析について

別紙 2 冠水状態での HDP-69B (B) 型の臨界解析について

別紙 3 臨界解析における条件設定根拠について

別紙 4 SCALE コードシステム (4. 4a) を使用することの妥当性について

別紙 5 臨界解析の対象燃料について

図表目次

図 2-1	HDP-69B(B)型のバスケット構造	4
図 2-2	臨界解析フロー図	5
表 2-1	HDP-69B(B)型の仕様	6
表 2-2	使用済燃料の仕様	7
表 2-3	臨界評価結果	8

1. 設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により、臨界に達することを防止する設計とした。

また、HDP-69B(B)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69B(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう、中性子実効増倍率を0.95以下となるように設計した。

バスケットプレートは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とした。

2. 臨界防止設計

(1) 臨界防止機能に関する構造

HDP-69B(B)型の仕様を表2-1に示す。

HDP-69B(B)型では、臨界に達することを防止するため、以下の設計上の配慮を行っている。

- a. 使用済燃料を収納するバスケットは、格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置形状に維持する設計とする。（「添付書類8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」参照）
- b. バスケットプレートには、中性子吸収材であるほう素を添加したステンレス鋼を使用する（図2-1参照）。

(2) 臨界評価

使用済燃料貯蔵施設での貯蔵中において、技術的に想定されるいかなる場合にも臨界に達することを防止する設計とした。また、解析コードがモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、解析コードの精度等を考慮して、中性子実効増倍率（ k_{eff} ）の平均値に統計誤差（ σ ）の3倍（ 3σ ）を加味した値が0.95以下（ $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0.95$ ）であることとした。

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封機能を有した複数の蓋を有しており、HDP-69B(B)型内に水が浸入することはなく、貯蔵中はHDP-69B(B)型内は乾燥状態であるが、原子力発電所におけるHDP-69B(B)型への使用済燃料収納時に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態の臨界評価を行った（別紙1及び別紙2参照）。

HDP-69B(B)型の臨界評価フローを図2-2に示す。中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して求めた。

使用済燃料の仕様を表2-2に示す。臨界評価に用いる使用済燃料の仕様は、代表として最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料とし、乾燥状態の解析では初期濃縮度3.66 wt%とし、熱中性子吸収効果のあるガドリニアを添加した燃料棒の存在を無視した。

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、燃料の無限増倍率は一旦上昇するが、今回収納する燃料においては、炉心装荷冷温状態で1.3を超えることがない設計となっている（別紙2参照）。このため、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態で燃料の無限増倍率が1.3となる燃料モデル（モデルバンドル）を仮定した。モデルバンドルについては、新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料用のモデルバンドルと高燃焼度8×8

燃料用のモデルバンドルの2種類を用いた（別紙5参照）。

評価に当たっては、HDP-69B(B)型の周囲を完全反射境界条件とし、HDP-69B(B)型の無限配列を模擬することにより、使用済燃料貯蔵施設の最大貯蔵容量にHDP-69B(B)型を配置した条件を包絡した設定とした。ここで、HDP-69B(B)型内は真空又は水で満たした状態とし、厳しい燃料配置状態を仮定し、また、バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法条件についても公差を考慮した（別紙3参照）。

解析コードとしてSCALEコードシステム（4.4a）を用い、燃料棒単位セル計算には輸送解析コードXSDRNPMを、臨界解析には臨界解析コードKENO-V.aを使用した。断面積ライブラリとしては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た（別紙4参照）。

(3) 臨界評価結果

評価結果を表2-3に示す。

HDP-69B(B)型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、技術的に想定されるいかなる場合においても、0.95を下回るため、使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを確認した。

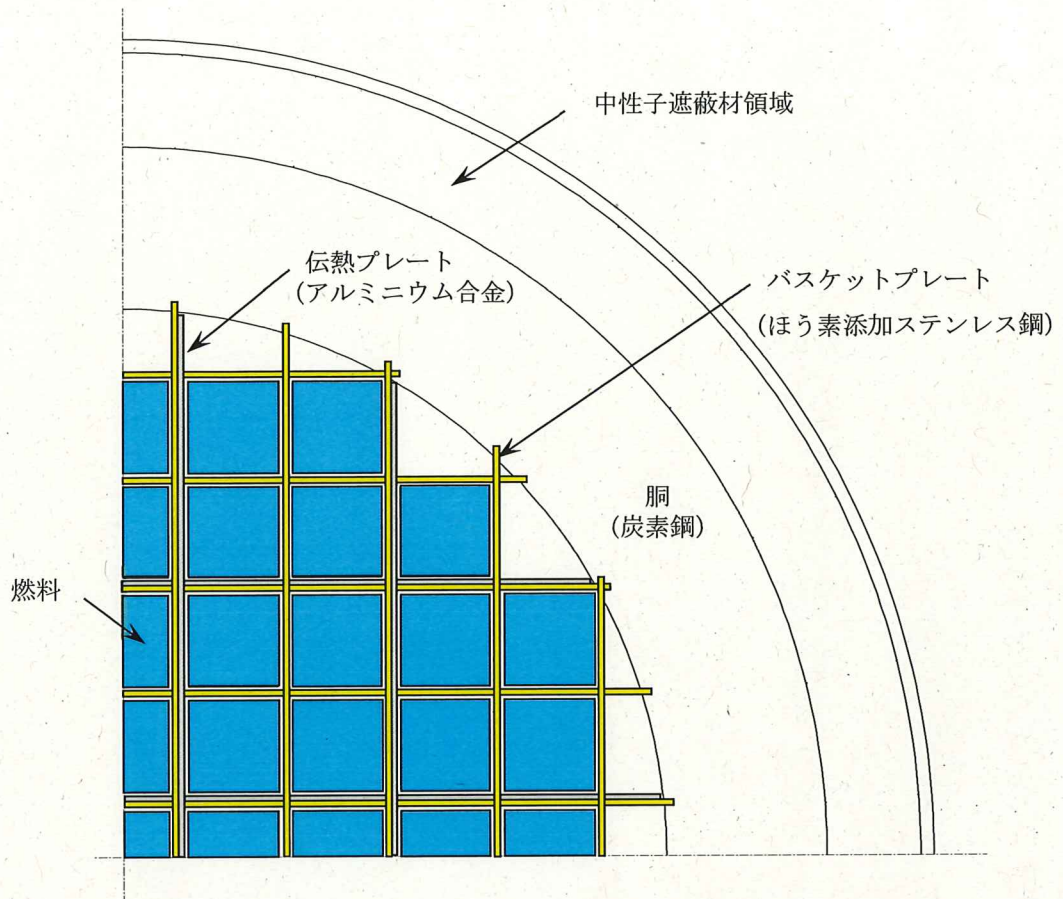


図 2-1 HDP-69B(B)型のバスケット構造

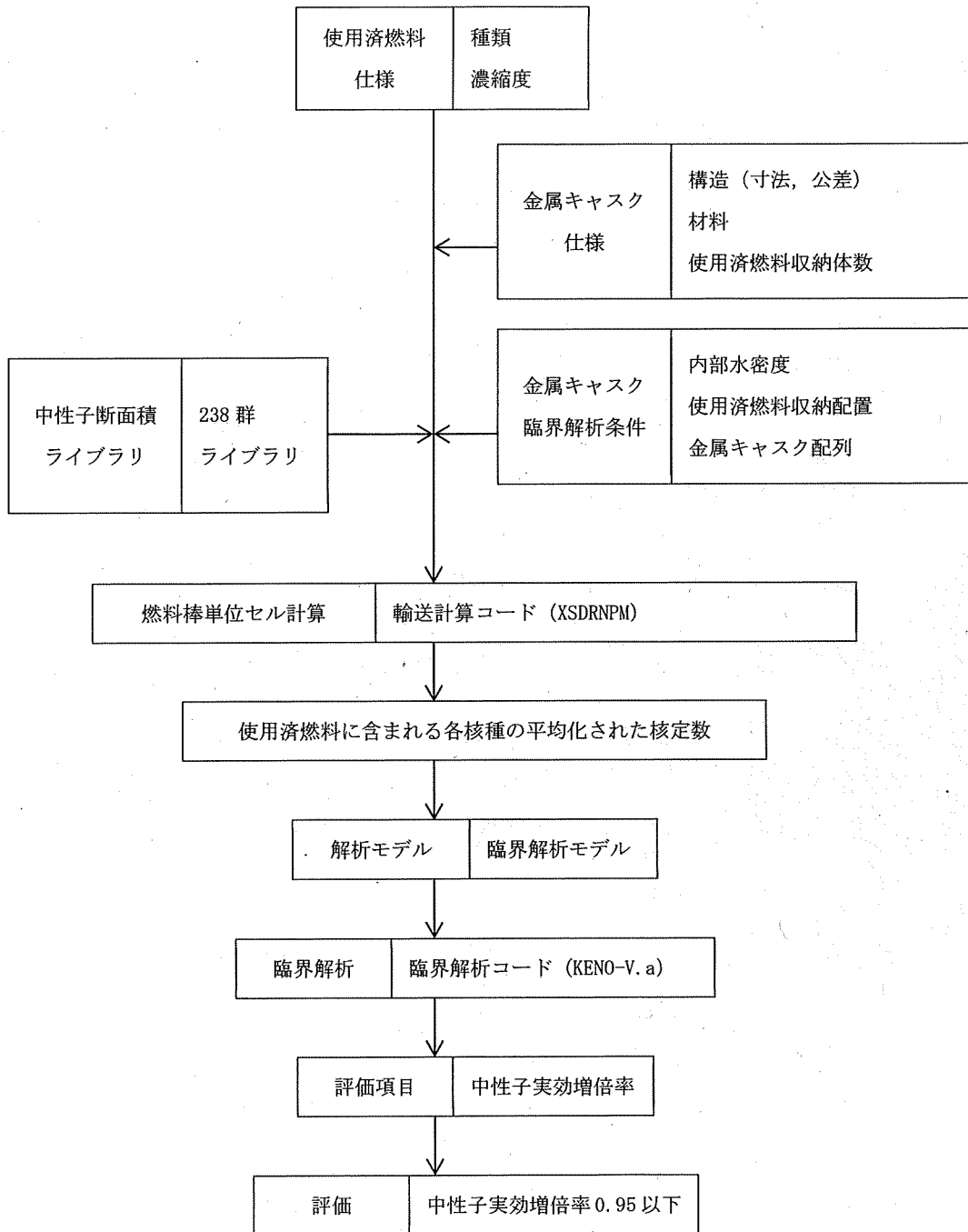


図 2-2 臨界解析フロー図

表2-1 HDP-69B(B)型の仕様

寸法 (m)	全長：約5.4		
	外径：約2.5		
収納体数 (体)	69		
バスケットの材料	バスケットプレート：ほう素添加ステンレス鋼		
	伝熱プレート：アルミニウム合金		
収納する使用済燃料の種類	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

表 2-2 使用済燃料の仕様

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
燃料密度	%理論密度			
ペレット直径	mm			
燃料有効長	mm			
燃料棒配列	—	8×8	8×8	8×8
燃料集合体当たり の燃料棒本数	本	62	62	60
初期濃縮度	wt%	約 3.1	約 3.1	3.66
モデルバンドル	—	別紙 5-1 図		別紙 5-2 図
使用済燃料の無限 増倍率	—	1.3 以下	1.3 以下	1.3 以下

表 2-3 臨界評価結果

	乾燥状態	冠水状態
中性子実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	0.41	0.89
統計誤差 (σ)	<0.001	
判定基準	0.95 以下	

乾燥状態でのHDP-69B(B)型の臨界解析について

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封機能を有した複数の蓋を有しており、HDP-69B(B)型内部に水が浸入することではなく、HDP-69B(B)型内は乾燥状態である。したがって、貯蔵中を対象にした乾燥状態での臨界解析（以下「乾燥時臨界解析」という。）を行うこととした。

1. 収納物

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料は照射済みのものであるが、濃縮度は未照射のままの減損していない値とし、安全側の仮定とした。また、燃料には可燃性毒物としてガドリニアを添加した燃料棒が含まれるが、熱中性子吸収効果のあるガドリニアの存在を無視した。臨界解析の対象は、代表として最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料とし、別紙1-1表に示す仕様の使用済燃料に対して臨界解析を行った。使用済燃料の燃料棒配置を別紙1-1図に示す。

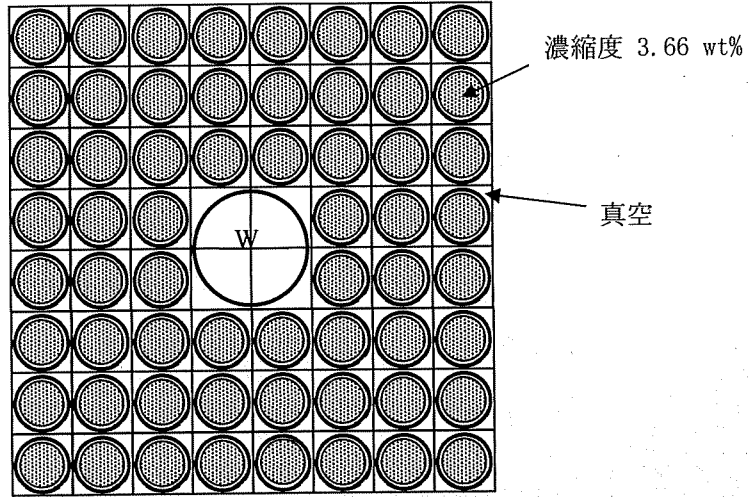
なお、実際にHDP-69B(B)型に収納する使用済燃料が、本解析の条件としている使用済燃料の反応度以下であることは、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の認可申請時に別途確認されることとする。

2. 解析モデル

HDP-69B(B)型の乾燥時臨界解析条件を別紙1-2表に示す。また、別紙1-2図に乾燥時臨界解析モデルを示す。

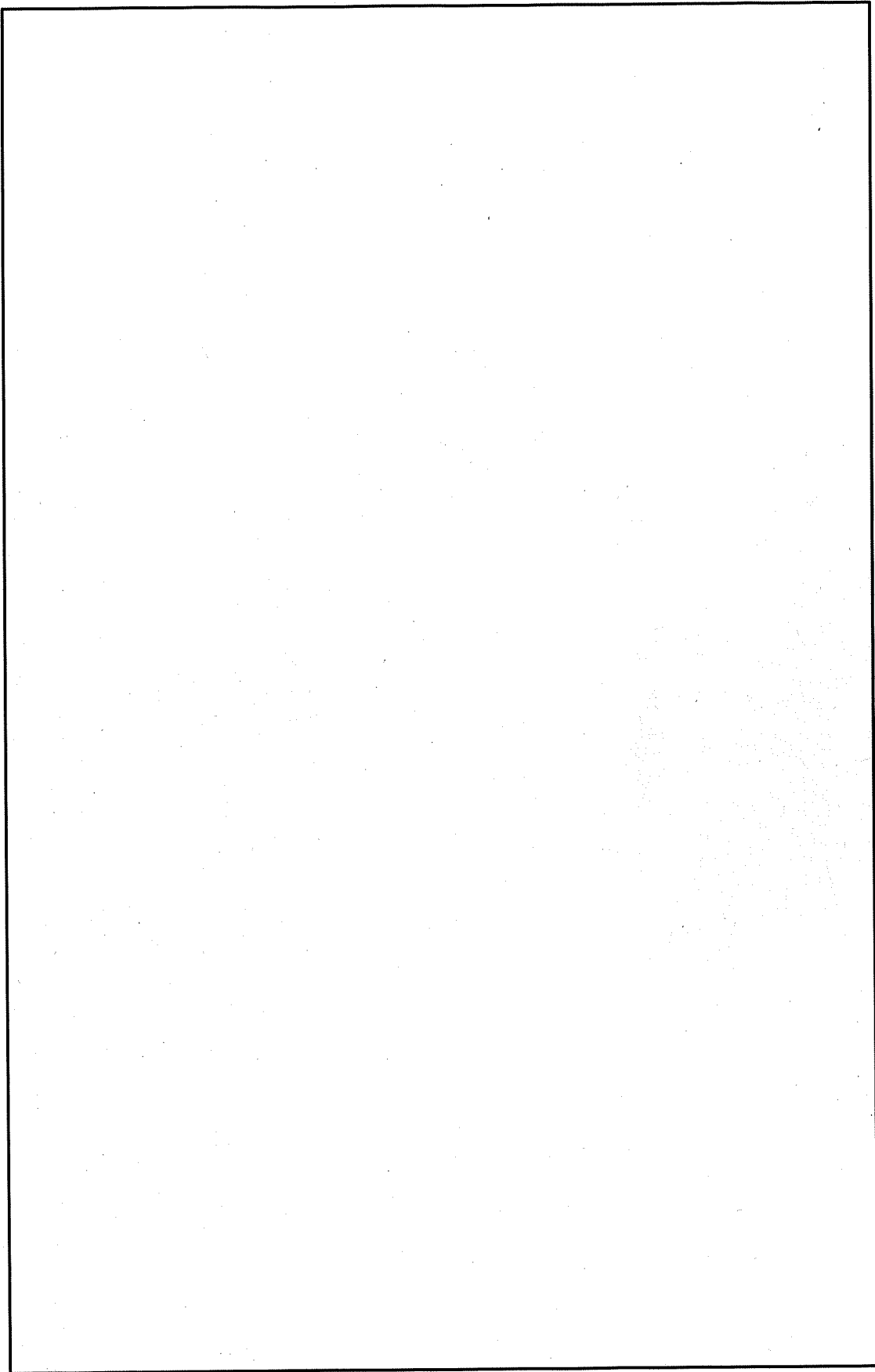
3. 解析結果

解析結果を別紙 1-3 表に示す。



W: ウォータロッド

別紙 1-1 図 乾燥時臨界解析における燃料棒配置 (高燃焼度 8×8 燃料)



別紙 1-2 図 乾燥時臨界解析モデル

別紙 1-3

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 1-1 表 乾燥時臨界解析用の使用済燃料（高燃焼度 8×8 燃料）の仕様

項目	単位	仕様
燃料材質	—	二酸化ウラン
被覆管材質	—	ジルカロイ-2 *1
燃料密度	%理論密度	
燃料棒外径	mm	
ペレット直径	mm	
被覆管肉厚	mm	
燃料有効長	mm	
燃料棒配列	—	
燃料集合体当たり の燃料棒本数	本	60
燃料棒ピッチ	mm	
使用済燃料の幅	mm	
濃縮度	wt%	3.66

注記*1：実際の仕様はジルコニウム合金（被覆管はジルカロイ-2，チャンネルボックスはジルカロイ-4又はジルカロイ-2）であるが，臨界解析上は純度100%のジルコニウムとして扱う。

*2：(燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列) = × (8) = mm を臨界解析上の使用済燃料の幅とした。

内は商業機密のため，非公開とします。

別紙 1-2 表 乾燥時臨界解析条件

項目	乾燥時臨界解析条件	
臨界解析の方法	HDP-69B(B)型の中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用	
解析コード	SCALE コードシステム (4. 4a) <ul style="list-style-type: none"> ・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 <input type="text"/>) ・断面積ライブラリ：SCALE コードシステム (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 	
解析条件	収納物	高燃焼度 8×8 燃料
	濃縮度 (wt%)	3. 66
	収納体数 (体)	69
	燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置 (別紙 1-2 図参照)
	寸法条件	バスケットプレート板厚, バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定
		バスケットプレート板厚 : 最小 <input type="text"/>
		伝熱プレート板厚 : 最小 <input type="text"/> バスケット格子内のり : 最小 <input type="text"/>
	HDP-69B(B)型内雰囲気	真空
	HDP-69B(B)型外雰囲気	真空
	HDP-69B(B)型配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)
	使用済燃料の構造材	真空に置換
	ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上での下限値 (<input type="text"/>) に設定
	チャンネルボックス	なし
中性子遮蔽材	側部, 蓋部, 底部中性子遮蔽材を真空に置換	
蓋部	一次蓋, 二次蓋を考慮	

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 1-3 表 乾燥時臨界解析結果

	乾燥時臨界解析結果
中性子実効増倍率 (k_{eff})	0.409
統計誤差 (σ)	<0.001
中性子実効増倍率 ($k_{\text{eff}} + 3\sigma$)	0.410

冠水状態での HDP-69B(B)型の臨界解析について

原子力発電所において、HDP-69B(B)型に使用済燃料を収納するに当たり、使用済燃料が冠水することから冠水状態も考慮し、HDP-69B(B)型内を減速材（純水）で満たした解析（以下「冠水時臨界解析」という。）を行った。

1. 収納物

別紙2-1図に示すように、一般的なBWR 燃料では、ガドリニアは、ほぼ1サイクル照射で燃え尽きるように設計されている⁽¹⁾。したがって、燃料としての反応度のピークは10 GWd/t程度の燃焼度で現れる。HDP-69B(B)型は、炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3を超えることがない使用済燃料を収納することを前提とした。

この前提に基づきHDP-69B(B)型の冠水時臨界解析においては、炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3となるような別紙2-1表に示す仕様のモデルバンドルを仮定した。モデルバンドルの燃料棒配置を別紙2-2図に示す。このように、本解析においてはモデルバンドルを用いるため、使用済燃料の平均濃縮度は、実燃料の平均初期濃縮度と異なる。

なお、実際にHDP-69B(B)型に収納する使用済燃料が、本解析の条件としているモデルバンドルの反応度以下であることは、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の認可申請時に別途確認されることとする。

2. 解析モデル

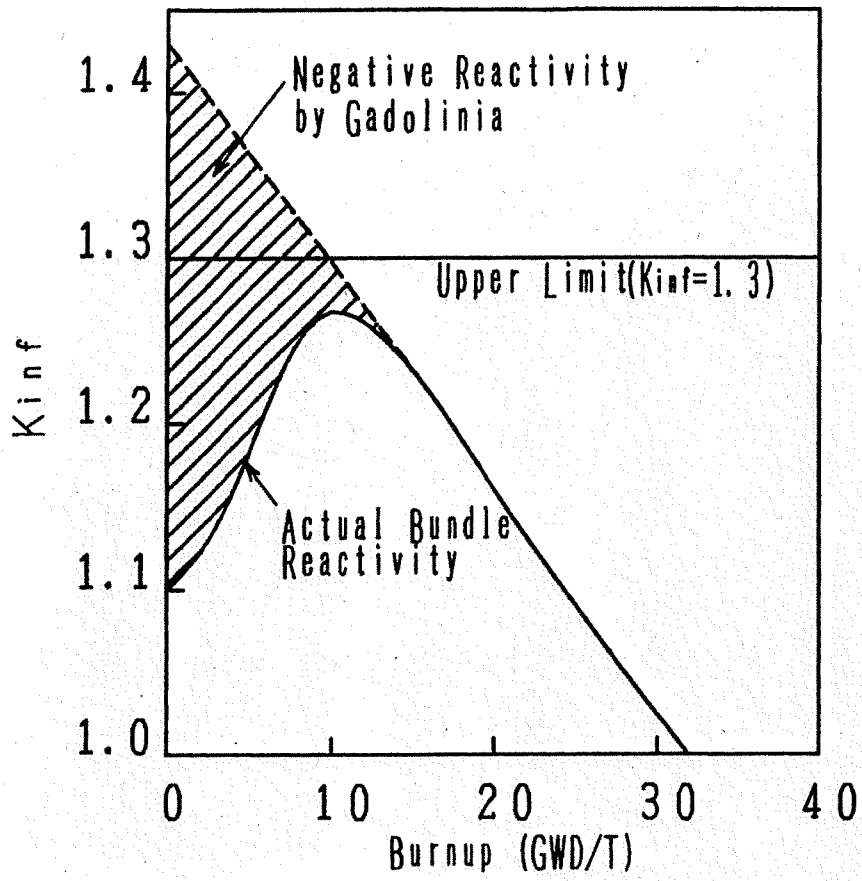
HDP-69B(B)型の冠水時解析条件を別紙2-2表に示す。また、別紙2-3図に冠水時臨界解析モデルを示す。

3. 解析結果

解析結果を別紙2-3表に示す。

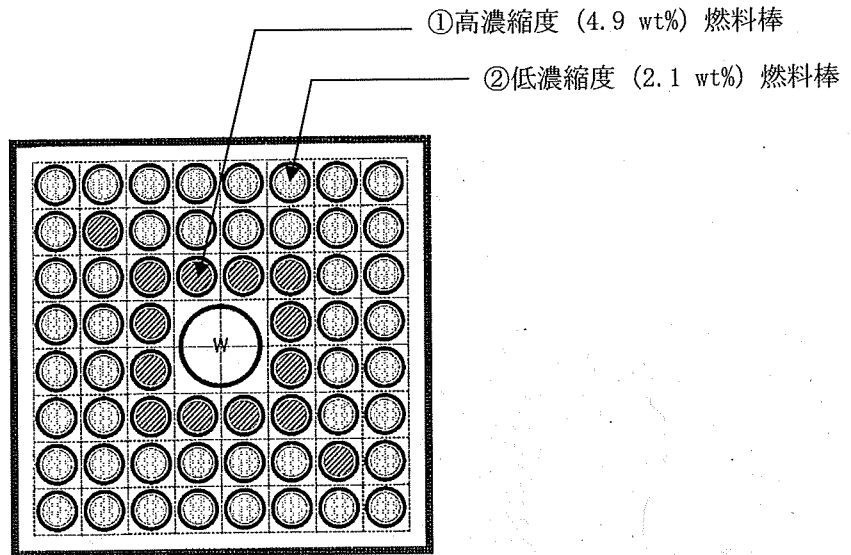
4. 参考文献

- (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," The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM '95), December 3-8, 1995, Las Vegas, USA (1995).



別紙 2-1 図 BWR 燃料の反応度特性⁽¹⁾

別紙 2-2

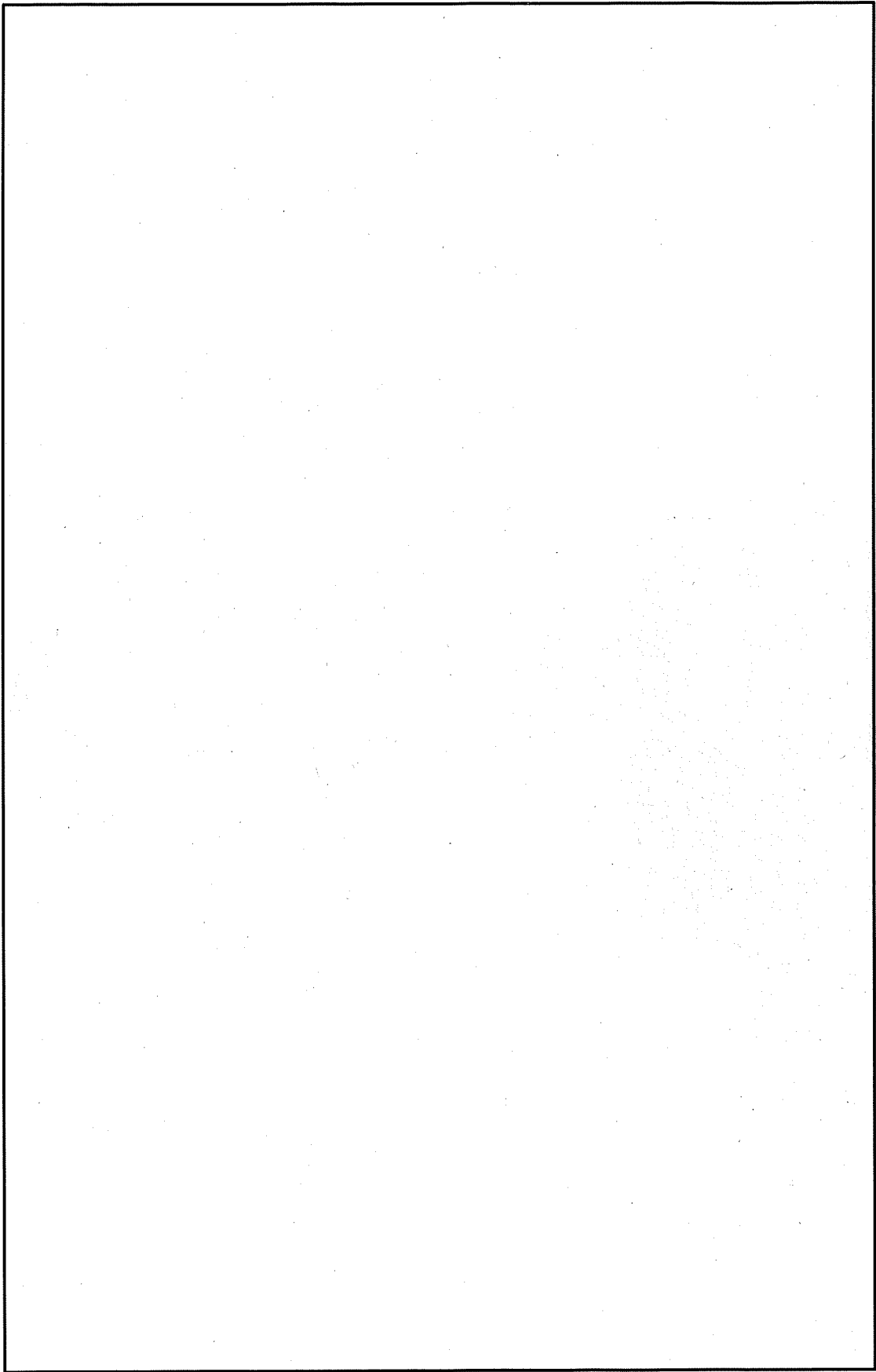


①高濃縮度燃料棒 : 14 本

②低濃縮度燃料棒 : 46 本

W : ウォータロッド

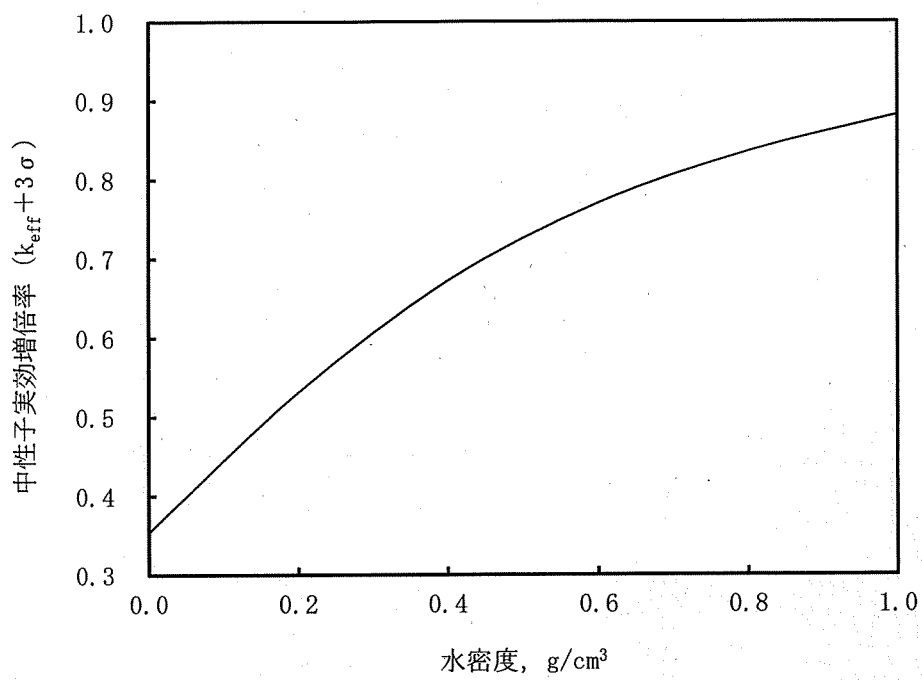
別紙 2-2 図 冠水時臨界解析における燃料棒配置 (高燃焼度 8×8 燃料モデルバンドル)



別紙 2-3 図 冠水時臨界解析モデル

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 2-4



別紙 2-4 図 HDP-69B(B)型内の水密度と中性子実効増倍率の関係 (高燃焼度 8×8 燃料)

別紙 2-1 表 冠水時臨界解析用の使用済燃料（高燃焼度 8×8 燃料）の仕様

項目	単位	仕様	
燃料材質	—	二酸化ウラン	
被覆管材質	—	ジルカロイ-2 *1	
燃料密度	%理論密度		
燃料棒直径	mm		
ペレット直径	mm		
被覆管肉厚	mm		
燃料有効長	mm		
燃料棒配列	—		8×8
燃料集合体当たり の燃料棒本数	本		60
燃料棒ピッチ	mm		
使用済燃料の幅	mm		
濃縮度	wt%	高濃縮度 4.9	
		低濃縮度 2.1	
チャンネルボックス材質	—	ジルカロイ *1	
チャンネルボックス全幅	mm		
チャンネルボックス厚さ	mm		

注記*1：実際の仕様はジルコニウム合金（被覆管はジルカロイ-2，チャンネルボックスはジルカロイ-4又はジルカロイ-2）であるが，臨界解析上は純度 100%のジルコニウムとして扱う。

*2：(燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列) = × (8) = mm を臨界解析上の使用済燃料の幅とした。

内は商業機密のため，非公開とします。

別紙 2-2 表 冠水時臨界解析条件

項目		冠水時臨界解析条件
臨界解析の方法		HDP-69B(B)型の中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用
解析コード		SCALE コードシステム (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 <input type="text"/>) ・断面積ライブラリ：SCALE コードシステム (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
解析条件	収納物	高燃焼度 8×8 燃料
	濃縮度 (wt%)	4.9 及び 2.1 (平均約 2.75) (炉心装荷冷温状態の無限増倍率が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドル)
	収納体数 (体)	69
	燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置 (別紙 2-3 図参照)
	寸法条件	バスケットプレート板厚, バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定
		バスケットプレート板厚 : 最小 <input type="text"/> 伝熱プレート板厚 : 最小 <input type="text"/> バスケット格子内のり : 最小 <input type="text"/>
	HDP-69B(B)型内雰囲気	冠水 (水密度 : 1.0 g/cm ³) (別紙2-4図に示すとおりHDP-69B(B)型内の水を考慮する場合には、冠水時の中性子実効増倍率が最大となる。)
	HDP-69B(B)型外雰囲気	真空
	HDP-69B(B)型配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)
	使用済燃料の構造材	水に置換
	ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値 (<input type="text"/>) に設定
	チャンネルボックス	あり
	中性子遮蔽材	側部, 蓋部, 底部中性子遮蔽材を真空に置換
蓋部	一次蓋, 二次蓋を考慮	

別紙 2-7

内は商業機密のため、非公開とします。

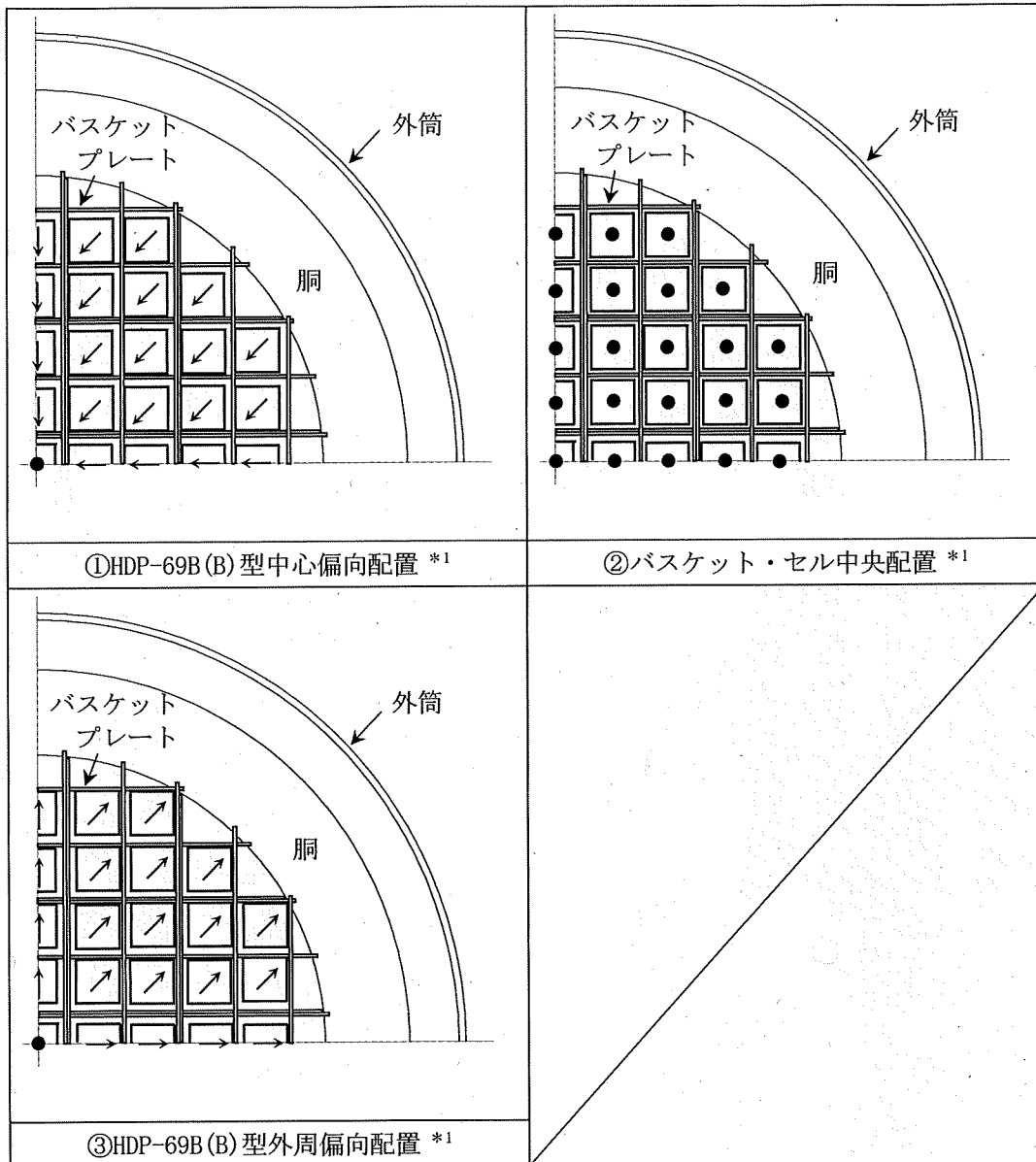
別紙 2-3 表 冠水時臨界解析結果

	冠水時臨界解析結果
中性子実効増倍率 (k_{eff})	0.879
統計誤差 (σ)	<0.001
中性子実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	0.882

臨界解析における条件設定根拠について

乾燥時臨界解析及び冠水時臨界解析における臨界解析条件及び設定根拠を別紙 3-1 表に示す。

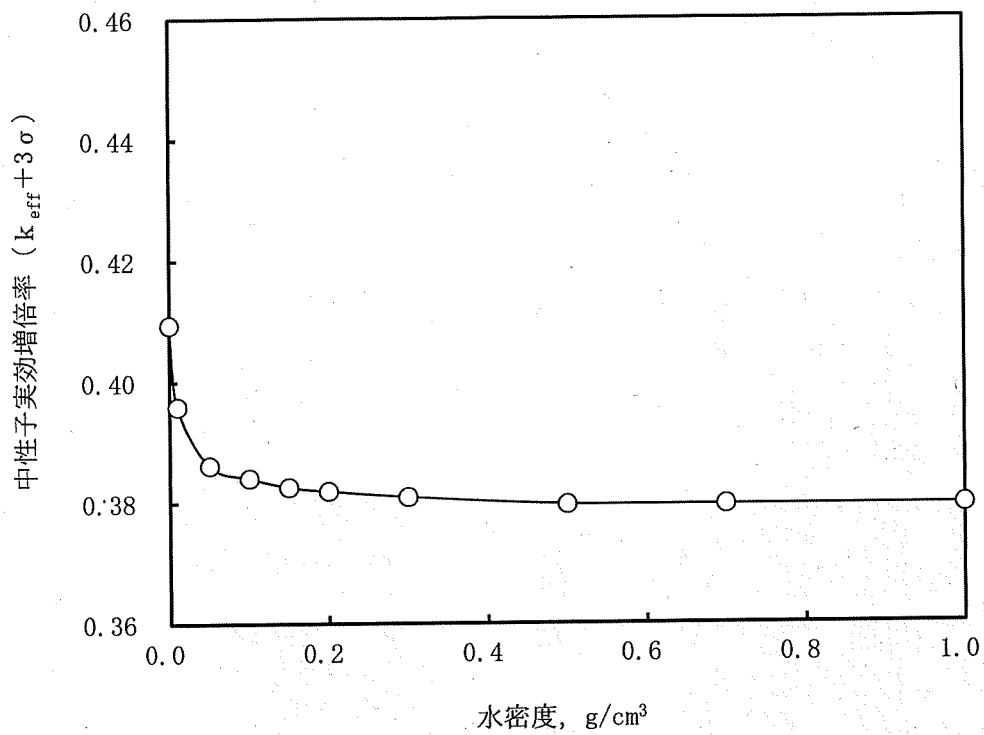
なお、臨界解析条件のうち、燃料配置、寸法条件、HDP-69B(B)型外雰囲気及びチャンネルボックスの有無については、別紙 3-2 表（乾燥時臨界解析）及び別紙 3-3 表（冠水時臨界解析）に示す感度解析により設定条件が妥当であることを確認している。



注記*1:「●」は、使用済燃料がバスケット・セル中央に配置されていることを表す。

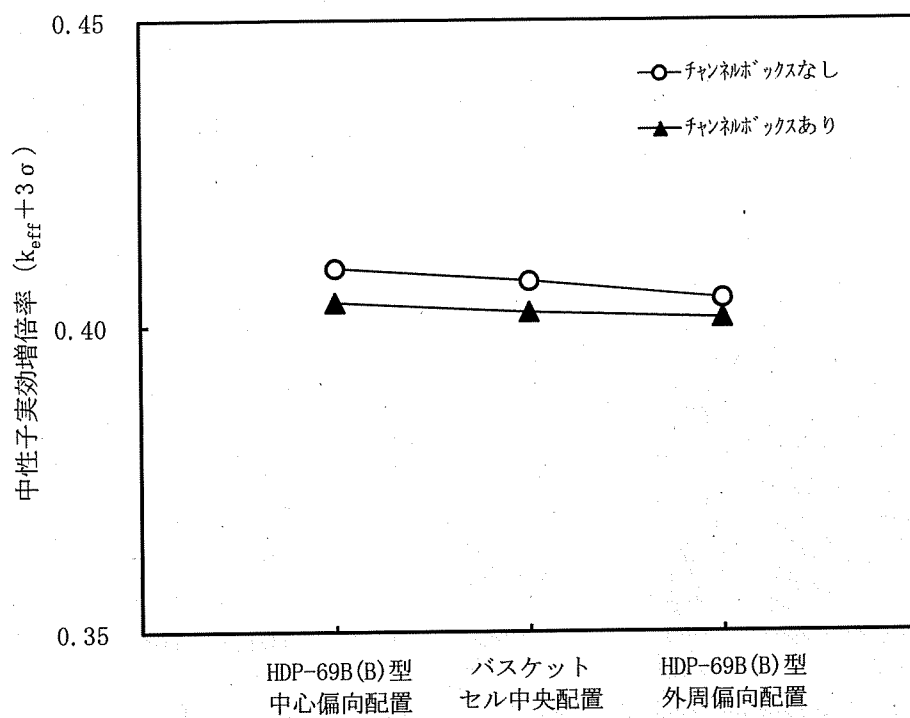
「→」は、使用済燃料の偏向配置方向を表す。

別紙 3-1 図 燃料配置感度解析条件 (乾燥時及び冠水時臨界解析)



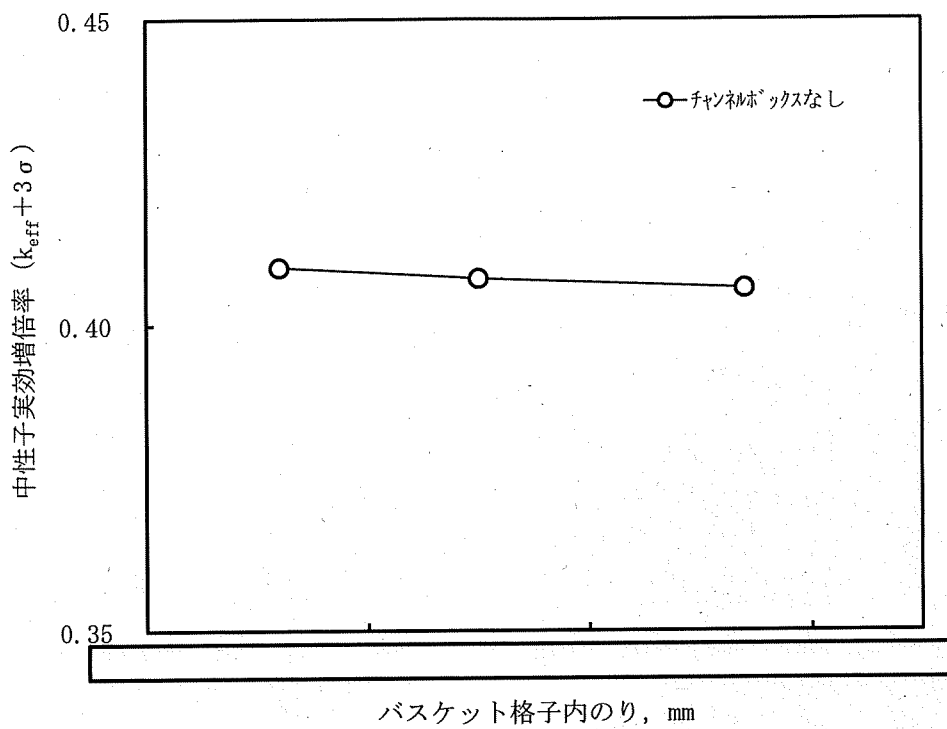
注記：HDP-69B(B)型外雰囲気（水密度）以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-2 図 HDP-69B(B)型外雰囲気感度解析結果（乾燥時臨界解析）



注記：燃料配置及びチャンネルボックス有無以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-3 図 燃料配置感度解析結果（乾燥時臨界解析）

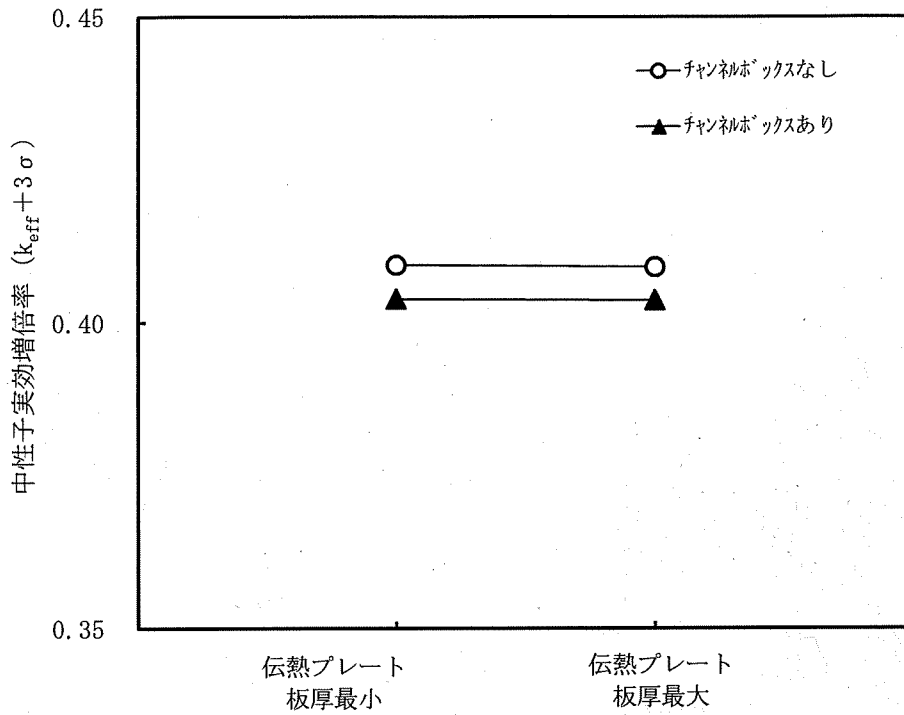


注記：バスケット格子内のり以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-4 図 バスケット格子内のり感度解析結果（乾燥時臨界解析）

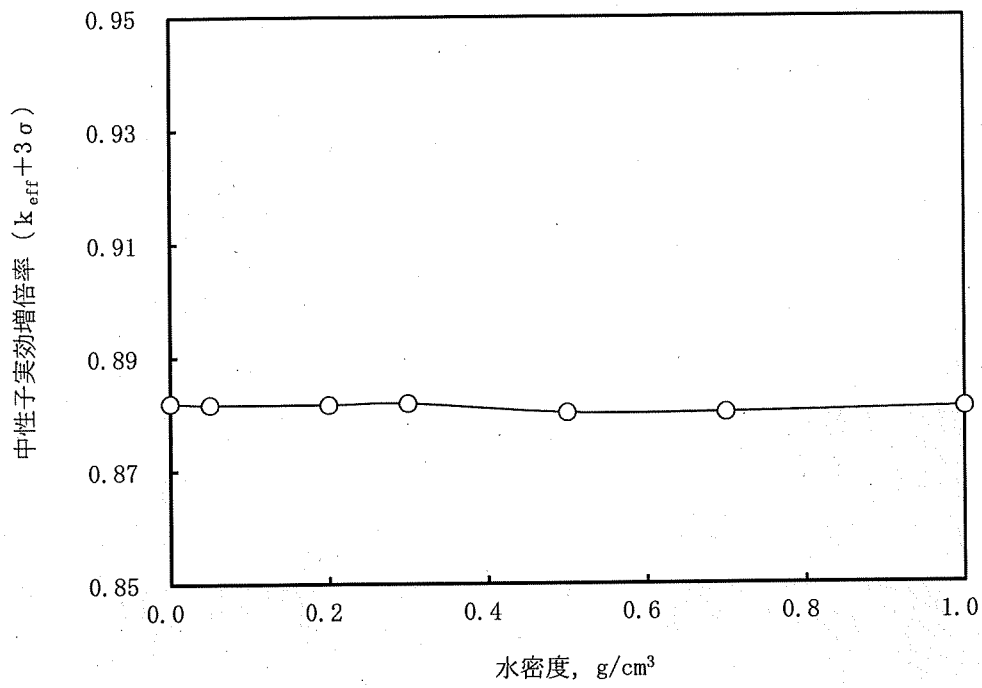
内は商業機密のため，非公開とします。

別紙 3-5



注記：伝熱プレート板厚及びチャンネルボックス有無以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

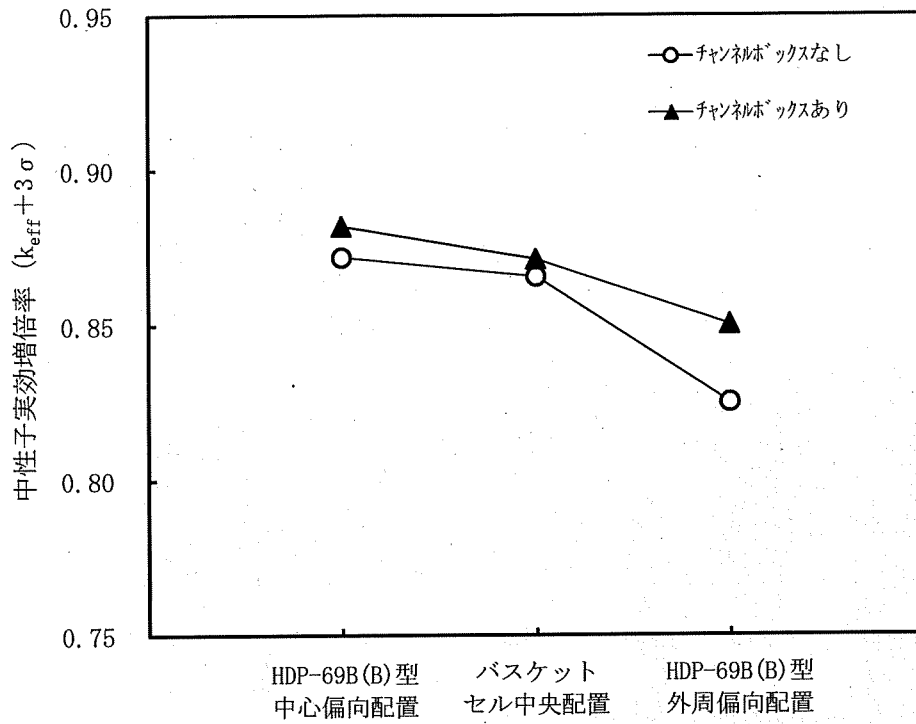
別紙 3-5 図 伝熱プレート板厚感度解析結果（乾燥時臨界解析）



注記：HDP-69B(B)型外雰囲気（水密度）以外は、別紙 3-1 表に示す条件を適用。

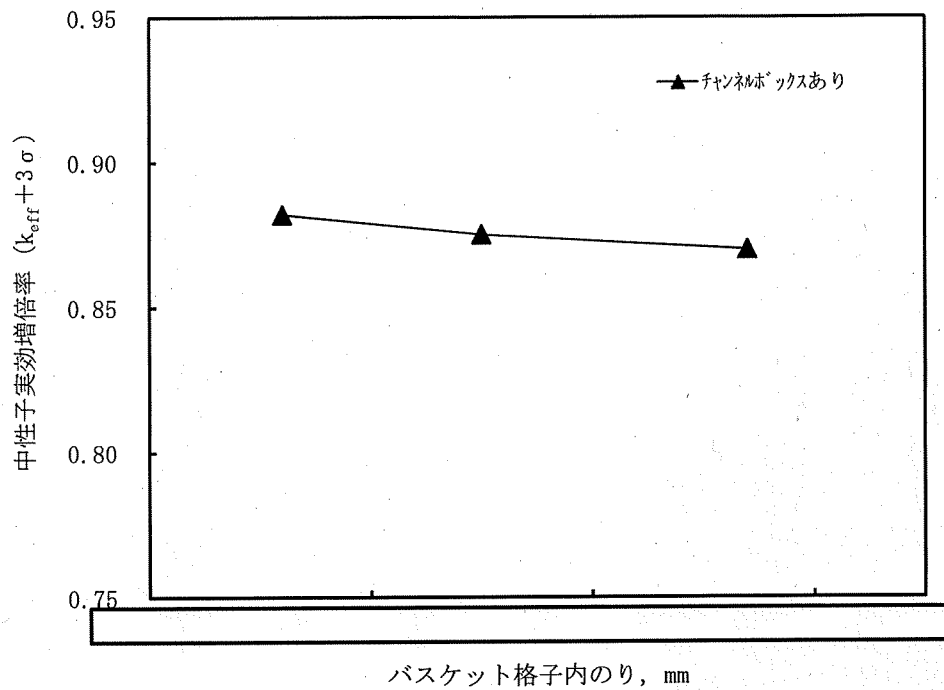
別紙 3-6 図 HDP-69B(B)型外雰囲気感度解析結果（冠水時臨界解析）

別紙 3-7



注記：燃料配置及びチャンネルボックス有無以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-7 図 燃料配置感度解析結果（冠水時臨界解析）

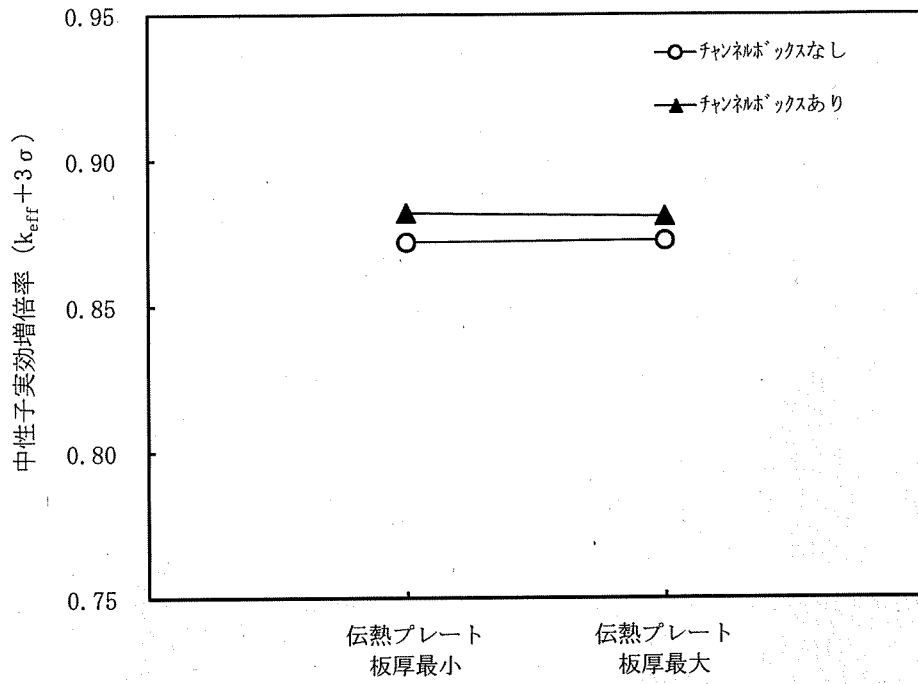


注記：バスケット格子内のり以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-8 図 バスケット格子内のり感度解析結果 (冠水時臨界解析)

内は商業機密のため，非公開とします。

別紙 3-9



注記：伝熱プレート板厚及びチャンネルボックス有無以外は，別紙 3-1 表に示す条件を適用。

別紙 3-9 図 伝熱プレート板厚感度解析結果（冠水時臨界解析）

別紙 3-1 表 (1/2) 臨界解析条件及び設定根拠

項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析
収納物	濃縮度が高く、燃料ペレットの理論密度や直径が大きく、反応度が最も高い高燃焼度8×8燃料を対象とした。	
濃縮度	ガドリニアの存在を無視し、平均初期濃縮度の最大値である3.66 wt%とした。	炉心装荷冷温状態における無限増倍率が1.3となるモデルバンドルとした。
燃料配置	中性子実効増倍率が最大となる HDP-69B(B)型中心偏向配置とした。	
寸法条件	バスケットプレート板厚：バスケットプレート材に含まれる中性子吸収材（天然ほう素）の量が少なくなり、かつ隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。	
	伝熱プレート板厚：隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。	
	バスケット格子内のり：隣接する使用済燃料までの距離が短くなるバスケット格子内のり最小とした。	
HDP-69B(B)型内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果を見捨てる真空とした。	中性子減速効果が最大となる水密度最大の1.0 g/cm ³ とした。
HDP-69B(B)型外雰囲気	解析モデルを完全反射境界とし、HDP-69B(B)型の外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく反射してHDP-69B(B)型へ戻る真空とした。	
HDP-69B(B)型配列	解析モデルをHDP-69B(B)型に外接する四角柱表面で完全反射とした。 (HDP-69B(B)型が無限に並ぶ配列と等価)	
ほう素添加量	中性子吸収材に含まれる天然ほう素量は、仕様上の下限値とした。 (ほう素の減損については、「添付書類8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」参照)	

別紙 3-1 表 (2/2) 臨界解析条件及び設定根拠

項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析
使用済燃料の構造材	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子吸収効果が小さい真空に置換した。	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子減速効果がある水に置換した。
チャンネルボックス	隣接する使用済燃料までの距離が短くなるチャンネルボックスなしとした。	水からチャンネルボックスに置換することで、減速効果及び中性子吸収効果がともに小さくなる。しかし、吸収効果の減少の影響が減速効果の減少の影響より大きいため、チャンネルボックスありとした。
中性子遮蔽材	中性子吸収効果のある側部、蓋部、及び底部中性子遮蔽材は真空とした。	
蓋部	貯蔵中は、一次蓋及び二次蓋により密封されるため蓋部をモデル化した。	

別紙 3-2 表 感度解析結果 (乾燥時臨界解析)
(申請書記載値)

項目	中性子実効増倍率 *1
解析結果 (乾燥)	0.41

(感度解析結果)

項目		感度解析条件		中性子 実効増倍率 *1	
燃料配置 (別紙 3-1 図参照)		①中心偏向配置		別紙 3-2 図 別紙 3-3 図 別紙 3-4 図 別紙 3-5 図 参 照	
		②バスケット・セル中央配置 *2			
		③外周偏向配置 *2			
HDP-69B(B)型内雰囲気		①真空 (水密度 0 g/cm ³)			
HDP-69B(B)型外雰囲気		①真空 (水密度 0 g/cm ³) ②0 < 水密度 ≤ 1.0 g/cm ³ *2			
チャンネルボックス		①なし ②あり *2			
寸 法 条 件 (mm)	バスケットプレート板厚	①最小			
	バスケット格子内のり	①最小			
		②公称			*2
		③最大			*2
	伝熱プレート板厚	①最小			
		②最大		*2	

注記*1: 解析結果はモンテカルロ計算の統計誤差 (σ) の3倍を加えた値 ($k_{\text{eff}} + 3\sigma$) である。

*2: 別紙3-1表に示す臨界解析条件を変更。

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 3-3 表 感度解析結果 (冠水時臨界解析)
(申請書記載値)

項目	中性子実効増倍率 *1
解析結果 (冠水)	0.89

(感度解析結果)

項目		感度解析条件		中性子 実効増倍率 *1	
燃料配置 (別紙 3-1 図参照)		①中心偏向配置		別紙 3-6 図 別紙 3-7 図 別紙 3-8 図 別紙 3-9 図 参 照	
		②バスケット・セル中央配置 *2			
		③外周偏向配置 *2			
HDP-69B(B)型内雰囲気		①冠水 (水密度 1.0 g/cm ³)			
HDP-69B(B)型外雰囲気		①真空 (水密度 0 g/cm ³) ②0 < 水密度 ≤ 1.0 g/cm ³ *2			
チャンネルボックス		①なし *2 ②あり			
寸 法 条 件 (mm)	バスケットプレート板厚	①最小			
	バスケット格子内のり	①最小			
		②公称			*2
		③最大			*2
	伝熱プレート板厚	①最小			
		②最大		*2	

注記*1: 解析結果はモンテカルロ計算の統計誤差 (σ) の3倍を加えた値 ($k_{\text{eff}} + 3\sigma$) である。

*2: 別紙3-1表に示す臨界解析条件を変更。

内は商業機密のため、非公開とします。

SCALE コードシステム (4.4a) を使用することの妥当性について

1. 概要

臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開の SCALE (Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation) コードシステム⁽¹⁾を用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれる KENO-V. a コードを用いた。

KENO-V. a コードは、モンテカルロ法に基づく臨界解析コードであり、輸送及び貯蔵キャスクの臨界解析等に広く用いられている。

2. 臨界解析フロー

臨界解析フローを別紙 4-1 図に示す。

均質化燃料領域以外の領域の群定数計算には共鳴計算処理コード NITAWL-II⁽¹⁾を、均質化燃料領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI⁽¹⁾、NITAWL-II 及び一次元輸送計算コード XSDRNPM⁽¹⁾を用い、核データライブラリは SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータの一つである 238GROUPNDF5 ライブラリを用いた。

燃料領域の均質化の方法としては、単位燃料棒の形状を一次元円柱モデルで近似し、XSDRNPM コードを用いて 238 群の中性子束分布を求め、それを重みとして燃料の均質化領域の 238 群定数を算出した。この 238 群定数及び KENO-V. a コードを用いて臨界解析を行った。

なお、KENO-V. a コードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。

- ① 実際に中性子が出会う物理現象は、確率理論を用いて模擬するため、どのような体系にも適用できる。なお、統計的な手法を用いるため、計算結果には統計誤差が付随する。
- ② 3次元の複雑な幾何形状の体系を扱うことができる。

3. SCALE コードシステムの検証

臨界解析で使用した SCALE コードシステムに対しては、軽水炉燃料の輸送及び貯蔵キャスクを模擬した多数の臨界実験のベンチマーク試験解析が実施され、その妥当性が示されている。

米国 PNL で行われた臨界実験⁽²⁾を対象としたベンチマーク解析を実施した。ベンチマーク解析対象とした PNL-3602 臨界実験の体系は、鉄の反射体に挟まれた 3つのクラスタ (低濃縮ウラン燃料棒を正方格子に配列した体系) の間に中性子吸収材を設置したものであり、中性子吸収材の種類、板厚、水ギャップ幅及び燃料濃縮度等、輸送及び貯蔵キャスクの臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。

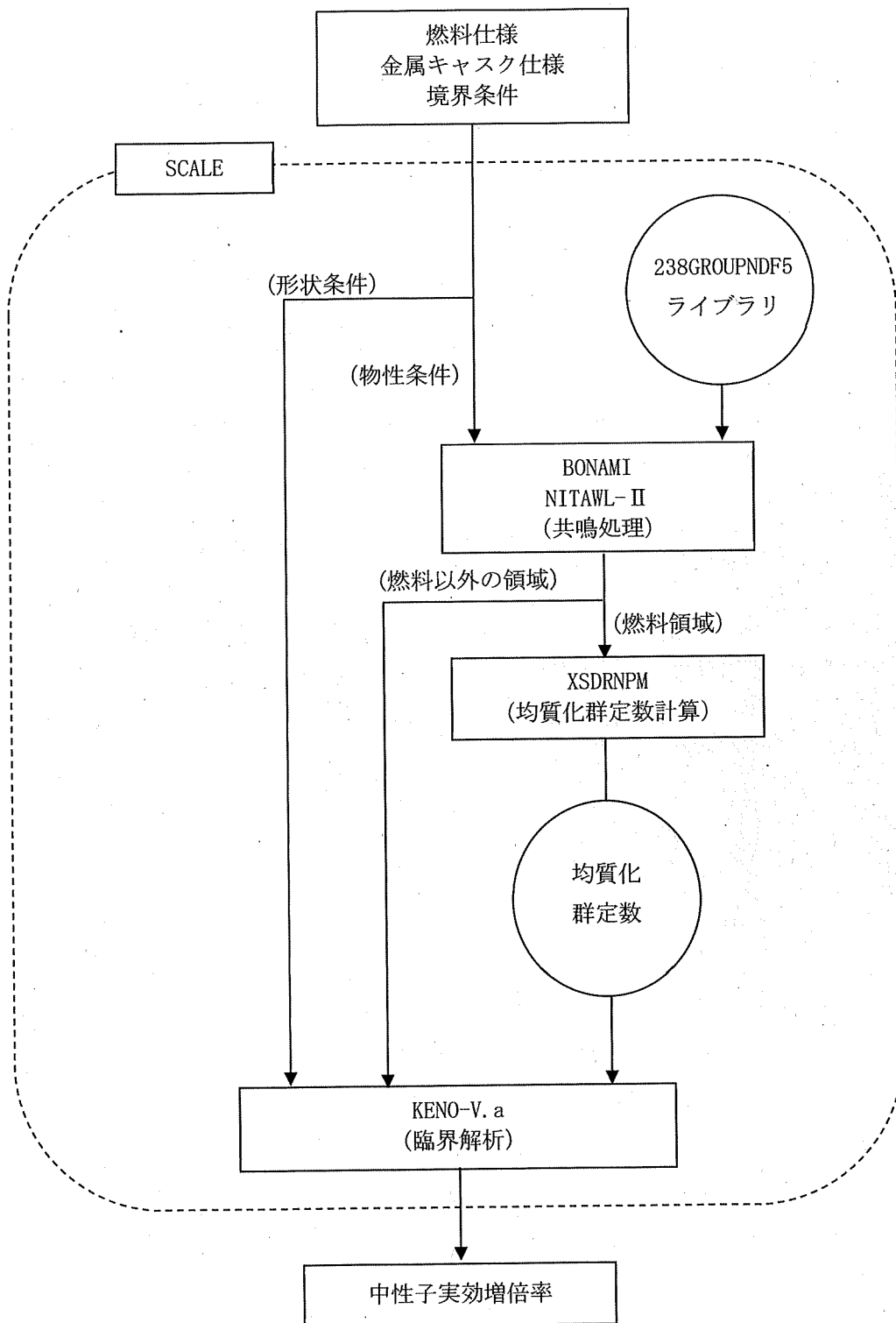
実験体系の概要を別紙 4-2 図に示す。この臨界実験体系は周囲を炭素鋼製の厚い胴に囲まれ、各燃料の間にバスケットのほう素添加ステンレス鋼による中性子吸収材を有する

HDP-69B(B)型の臨界解析体系と類似している。

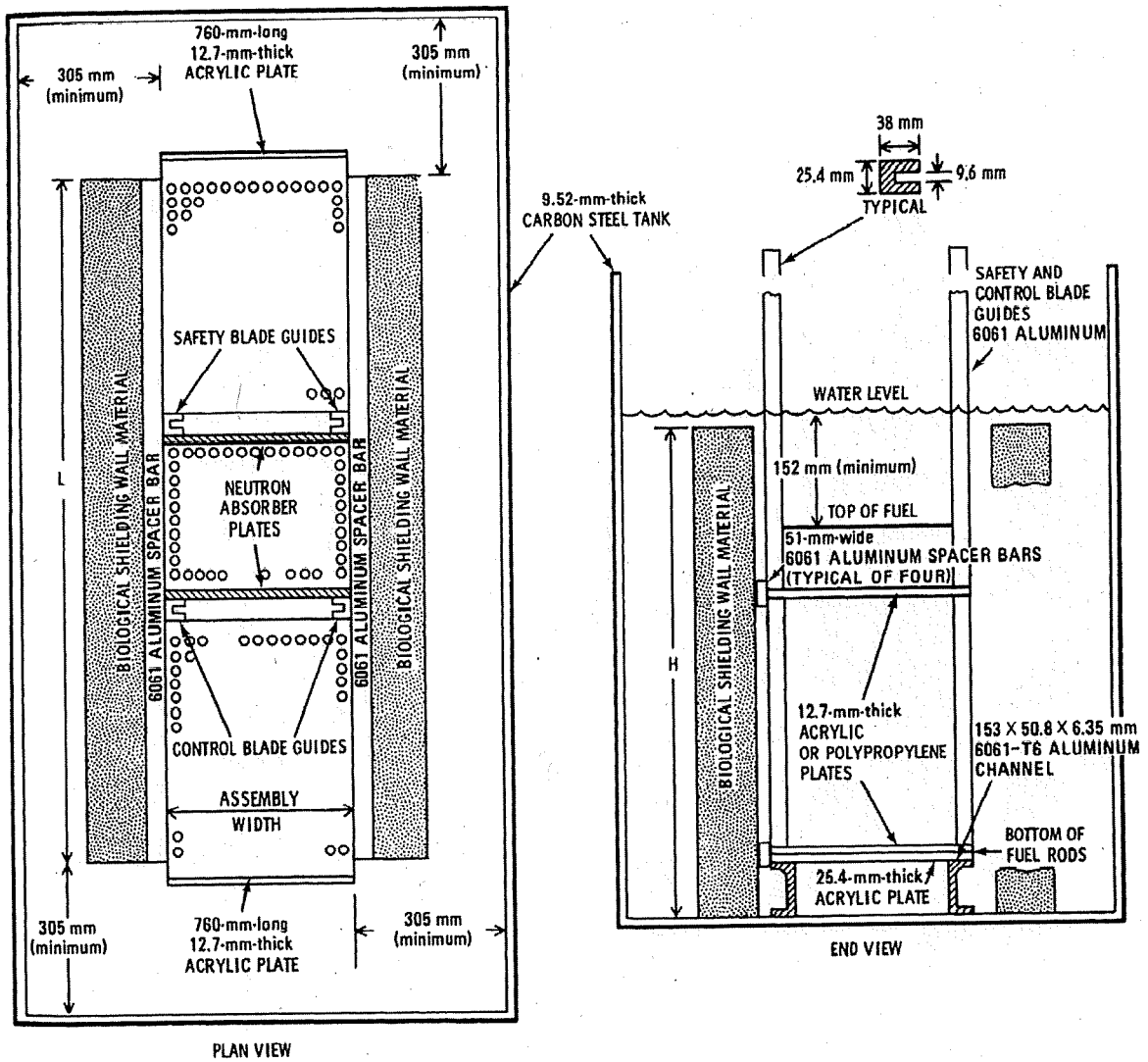
ベンチマーク解析は 238GROUPNDF5 ライブラリを用い SCALE コードシステムで行った。別紙 4-1 表にベンチマーク臨界計算の結果を示す。ベンチマーク解析の結果, 臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。

4. 参考文献

- (1) "SCALE : A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation," Vols.1-3, NUREG/CR-0200, U.S. Nuclear Regulatory Commission (originally issued July 1980).
- (2) S. R. Bierman and E. D. Clayton, "Criticality Experiments with Subcritical Clusters of 2.35 Wt% and 4.31 Wt% ²³⁵U Enriched UO₂ Rods in Water with Steel Reflecting Walls," NUREG/CR-1784(PNL-3602), U.S. Nuclear Regulatory Commission (1981).



別紙4-1図 臨界解析フロー



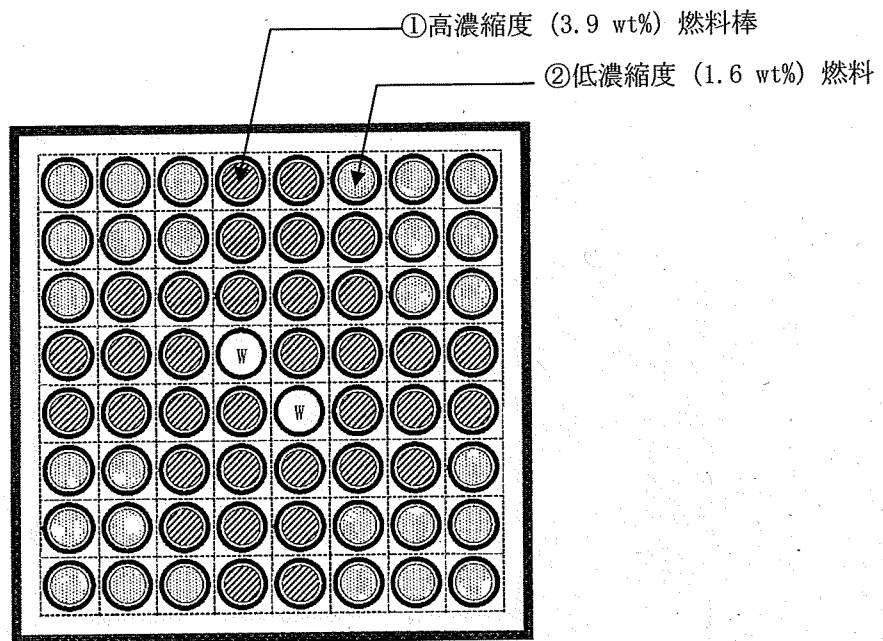
別紙4-2図 PNL-3602の臨界実験体系⁽²⁾

別紙 4-1 表 ベンチマーク臨界解析結果

項目	解析結果等
解析ケース数	16
平均値	0.99794
標準偏差	0.00191
最小値	0.99470
最大値	1.00105

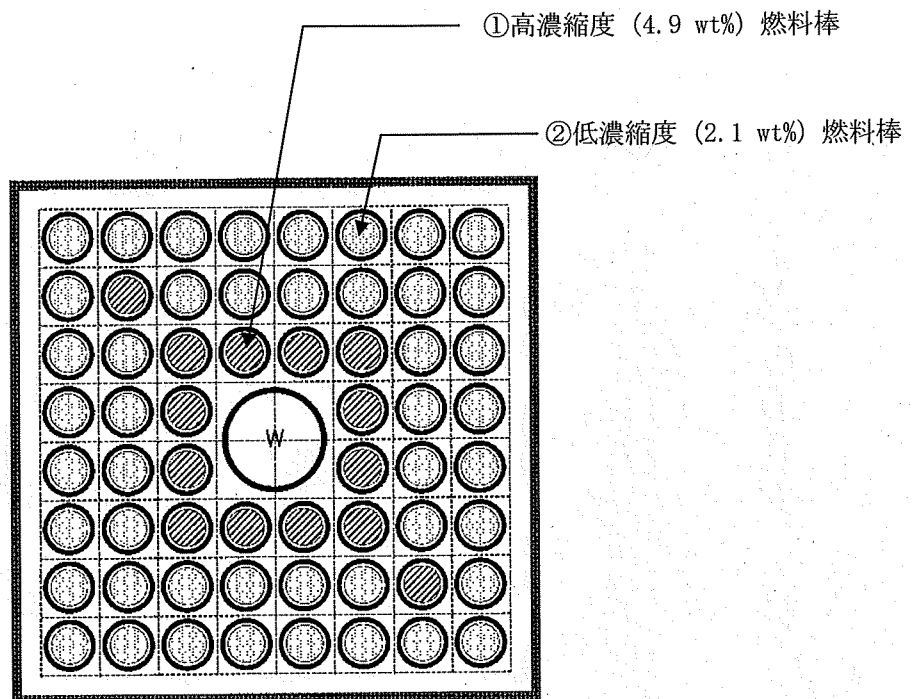
臨界解析の対象燃料について

冠水時臨界解析では、炉心装荷冷温状態での燃料の無限増倍率が1.3となる燃料モデル（モデルバンドル）を収納した解析を実施している。モデルバンドルは、別紙5-1表に示すとおりHDP-69B(B)型の収納対象燃料の燃料仕様（濃縮度，燃料棒配置等）に応じて2種類あるが，最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料のモデルバンドルを代表としている。新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料を対象としたウォータロッドが2本のモデルバンドル（別紙5-1図参照）を対象とした臨界解析結果は，別紙5-2表に示すとおりであり，高燃焼度8×8燃料のモデルバンドル（別紙5-2図参照）を収納した場合の方が，中性子実効増倍率が高くなることを確認している。



- ①高濃縮度燃料棒：34 本
- ②低濃縮度燃料棒：28 本
- W：ウォータロッド

別紙5-1図 冠水時臨界解析における燃料棒配置
(新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料モデルバンドル)



①高濃縮度燃料棒：14 本

②低濃縮度燃料棒：46 本

W：ウォータロッド

別紙5-2図 冠水時臨界解析における燃料棒配置
(高燃焼度8×8燃料モデルバンドル)

別紙5-1表 冠水時臨界解析用の使用済燃料の仕様 (モデルバンドル)

項目	単位	仕様	
燃料の種類	—	新型 8×8 燃料 及び 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	
被覆管材質	—	ジルカロイ-2 *1	
燃料密度	%理論密度		
燃料棒直径	mm		
ペレット直径	mm		
被覆管肉厚	mm		
燃料有効長	mm		
燃料棒配列	—	8×8	
燃料集合体当たり の燃料棒本数	本	62	60
燃料棒ピッチ	mm		
使用済燃料の幅	mm		
濃縮度	wt%	高濃縮度 3.9	高濃縮度 4.9
		低濃縮度 1.6	低濃縮度 2.1
チャンネルボックス材質	—	ジルカロイ *1	
チャンネルボックス全幅	mm		
チャンネルボックス厚さ	mm		
燃料棒配置	—	別紙 5-1 図参照	別紙 5-2 図参照

注記*1：実際の仕様はジルコニウム合金（被覆管はジルカロイ-2，チャンネルボックスはジルカロイ-4又はジルカロイ-2）であるが，臨界解析上は純度 100%のジルコニウムとして扱う。

*2：(燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列) = × (8) = mm を臨界解析上の使用済燃料の幅とした。

内は商業機密のため，非公開とします。

別紙5-2表 燃料種類ごとの冠水時臨界解析結果

燃料の種類	冠水時臨界解析結果	
	新型 8×8 燃料及び 新型8×8ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8燃料
中性子実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	0.878	0.882

添付書類 3

放射線の遮蔽に関する説明書

目 次

1. 設計方針	1
2. 遮蔽設計	2

別紙 1 HDP-69B(B)型の遮蔽解析条件について

別紙 2 ピーキングファクターについて

別紙 3 線量当量率の分布について

別紙 4 中性子遮蔽体領域のモデル化について

別紙 5 トラニオン部のモデル化について

別紙 6 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

図表目次

図 2-1	遮蔽解析フロー図	4
図 2-2-1	使用済燃料の収納配置条件(配置(i))(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)	5
図 2-2-2	使用済燃料の収納配置条件(配置(ii))(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)	6
図 2-2-3	使用済燃料の収納配置条件(配置(iii))(新型 8×8 燃料のみを収納する場合)	7
図 2-3	HDP-69B(B)型の遮蔽解析モデル化の概要	8
図 2-4	線量当量率評価位置(配置(i), (ii))	9
表 2-1	HDP-69B(B)型の主要部位の構成部材	10
表 2-2	使用済燃料の線源強度計算条件	11
表 2-3	使用済燃料の線源強度計算方法	13
表 2-4	金属キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度	14
表 2-5	遮蔽解析の保守性	15
表 2-6	遮蔽解析の不確かさの考慮	15
表 2-7-1	線量当量率評価結果(配置(i))	16
表 2-7-2	線量当量率評価結果(配置(ii))	17

1. 設計方針

HDP-69B(B)型を用いる使用済燃料貯蔵施設は、遮蔽機能を確保するために「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)に示されている以下の要求事項を満足するように設計される。

- ・使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量が原子力規制委員会の定める線量限度を十分下回るように設置されたものでなければならない。
- ・事業所内における外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場所には、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有する遮蔽設備が設けられていなければならない。この場合において、当該遮蔽設備に開口部又は配管その他の貫通部がある場合であって放射線障害を防止するために必要がある場合には、放射線の漏えいを防止するための措置が講じられたものでなければならない。

上記のとおり、HDP-69B(B)型は一般公衆、放射線業務従事者等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遮蔽することが要求されており、使用済燃料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している。

また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属製の乾式キャスクであるため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」(昭和53年12月28日 総理府令第57号)(以下「外運搬規則」という。)に示されている要求事項を踏まえ、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲から、以下の項目を遮蔽設計の条件とする。

- ・表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。
- ・表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。

2. 遮蔽設計

(1) 遮蔽構造

HDP-69B(B)型の主要部位の構成部材を表 2-1 に示す。

HDP-69B(B)型は、以下の遮蔽構造を有する設計としている。

- a. 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、金属キャスク本体(胴及び外筒)、蓋部の炭素鋼等で構成する。
- c. 中性子遮蔽材は、水素を多く含有する樹脂(以下「レジン」という。)で構成する。

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析においては、以下に示すとおり線源条件を設定し、金属キャスクの表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率を求め、それぞれ 2 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認する。

遮蔽解析フローを図2-1に示す。解析条件は、別紙1に示す。

a. 線源条件

使用済燃料の線源強度計算条件を表 2-2、収納配置条件を図 2-2-1 から図 2-2-3 に示す。使用済燃料の線源強度は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求める。また、使用済燃料平均燃焼度に対する軸方向の燃焼度の比を包含する燃焼度分布(以下「ピーキングファクター」という。別紙 2 参照。)を考慮する。

使用済燃料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線源強度を求める。

使用済燃料の線源強度計算方法を表 2-3 に、表 2-3 の計算方法で評価した金属キャスク 1 基当たりの線源強度を表 2-4 に示す。

なお、後述の「b. 線量当量率評価方法」では、線源強度評価の結果(表 2-4 参照)より、線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置(i)、(ii)を対象として評価を実施する。

b. 線量当量率評価方法

HDP-69B(B)型の線量当量率は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面で二次元でモデル化し、「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。

線量当量率の評価位置である金属キャスク表面から1 m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。

HDP-69B(B)型のモデル化の概要を図2-3に示す。また、遮蔽解析の保守性を表2-5に、解析における不確かさの考慮を表2-6に示す。

(3) 遮蔽解析結果

配置(i), (ii)それぞれについて、金属キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率を表 2-7-1 及び表 2-7-2 に、評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を図 2-4 に示す。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置は、配置(i), (ii)ともに同じ位置である。

遮蔽解析結果から金属キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率は、それぞれ2 mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認した。

各評価方向における線量当量率の分布図は別紙3に示す。

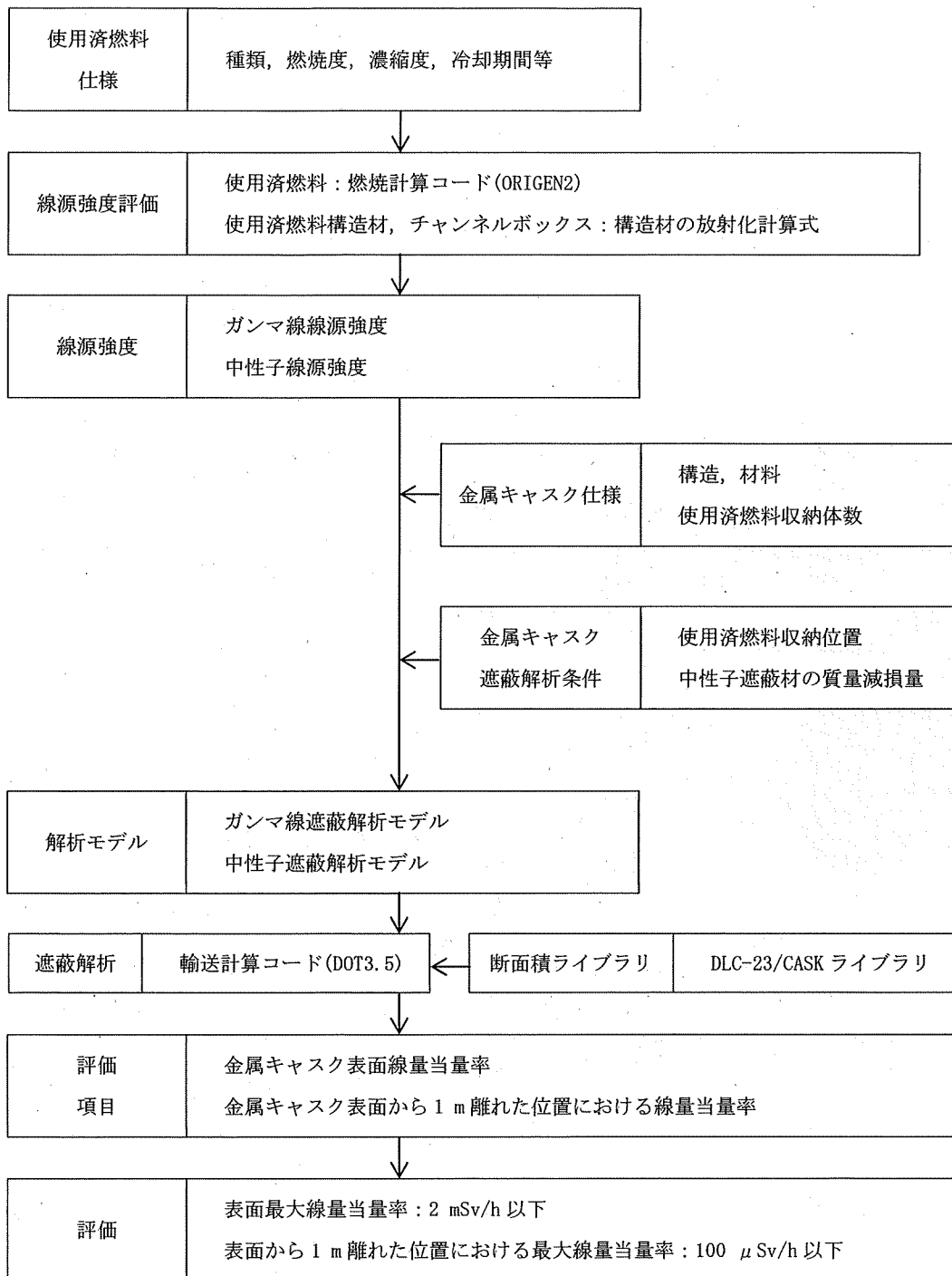
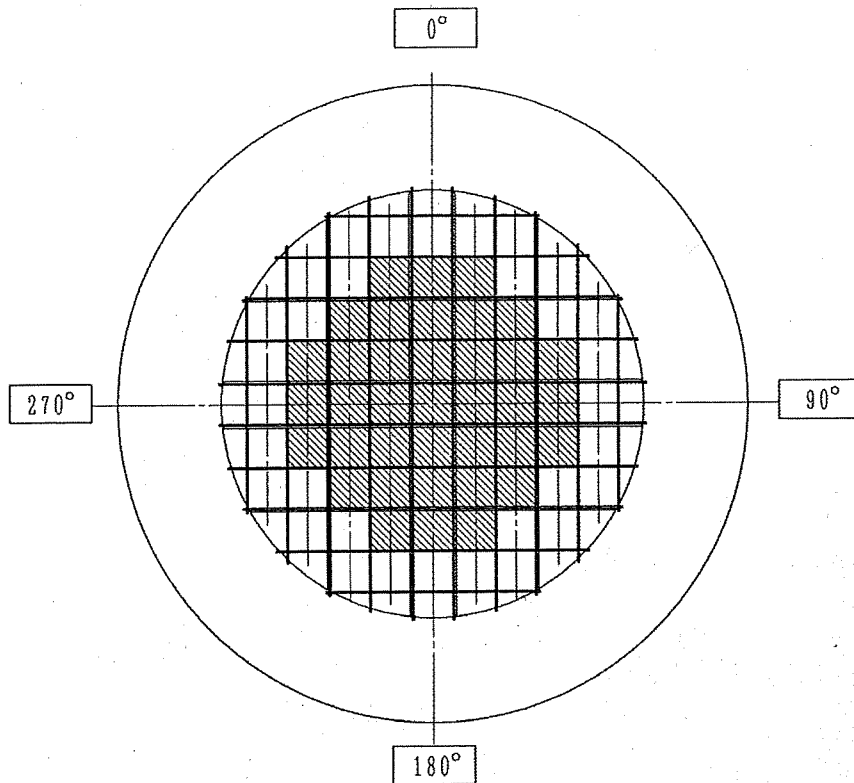


図 2-1 遮蔽解析フロー図

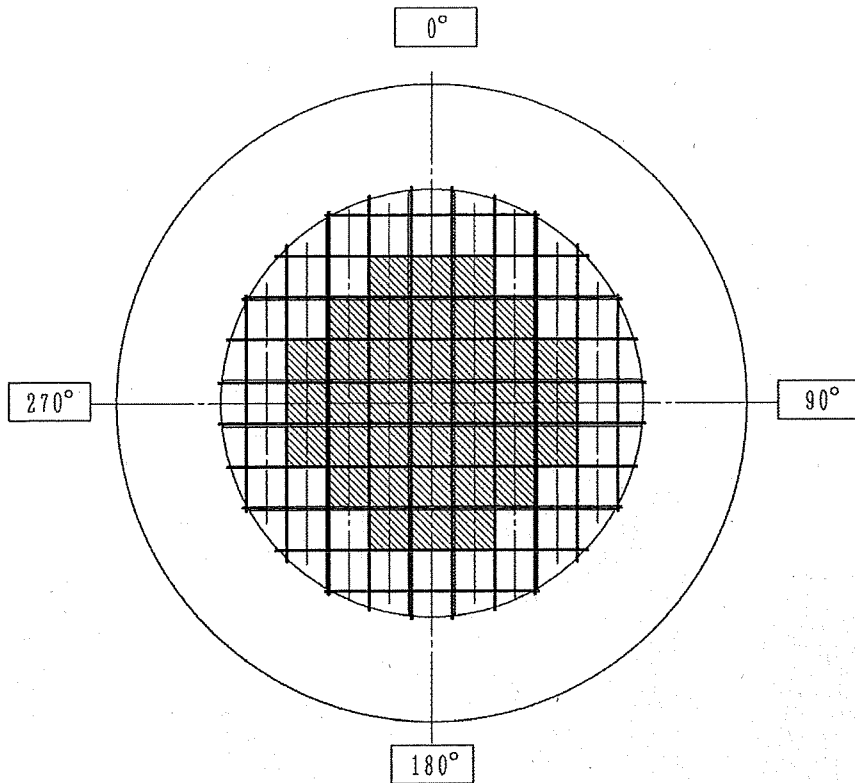


燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上

燃料種類 : 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
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW 以下

図 2-2-1 使用済燃料の収納配置条件(配置(i))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

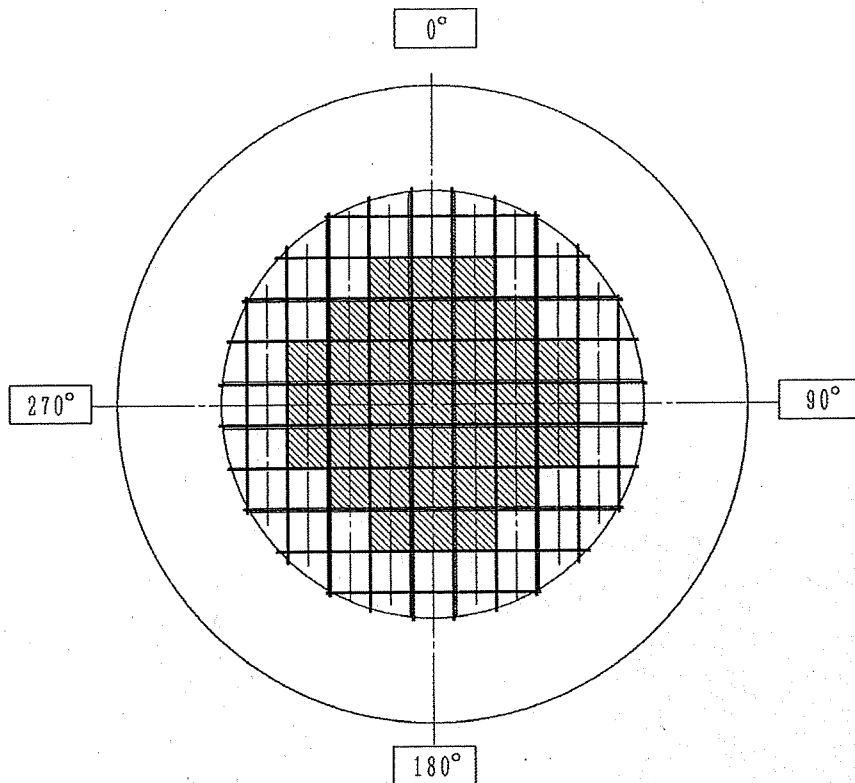


燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 22 年以上

燃料種類 : 高燃焼度 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 20 年以上

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

図 2-2-2 使用済燃料の収納配置条件(配置(ii))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)



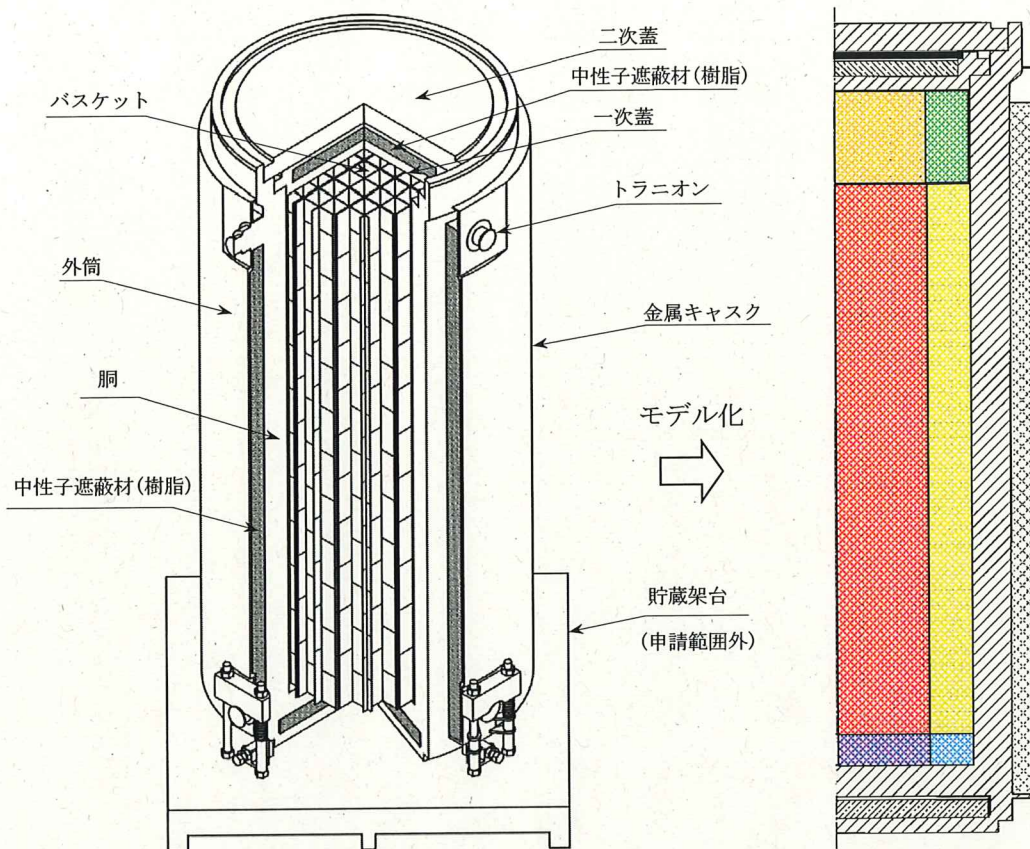
燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下

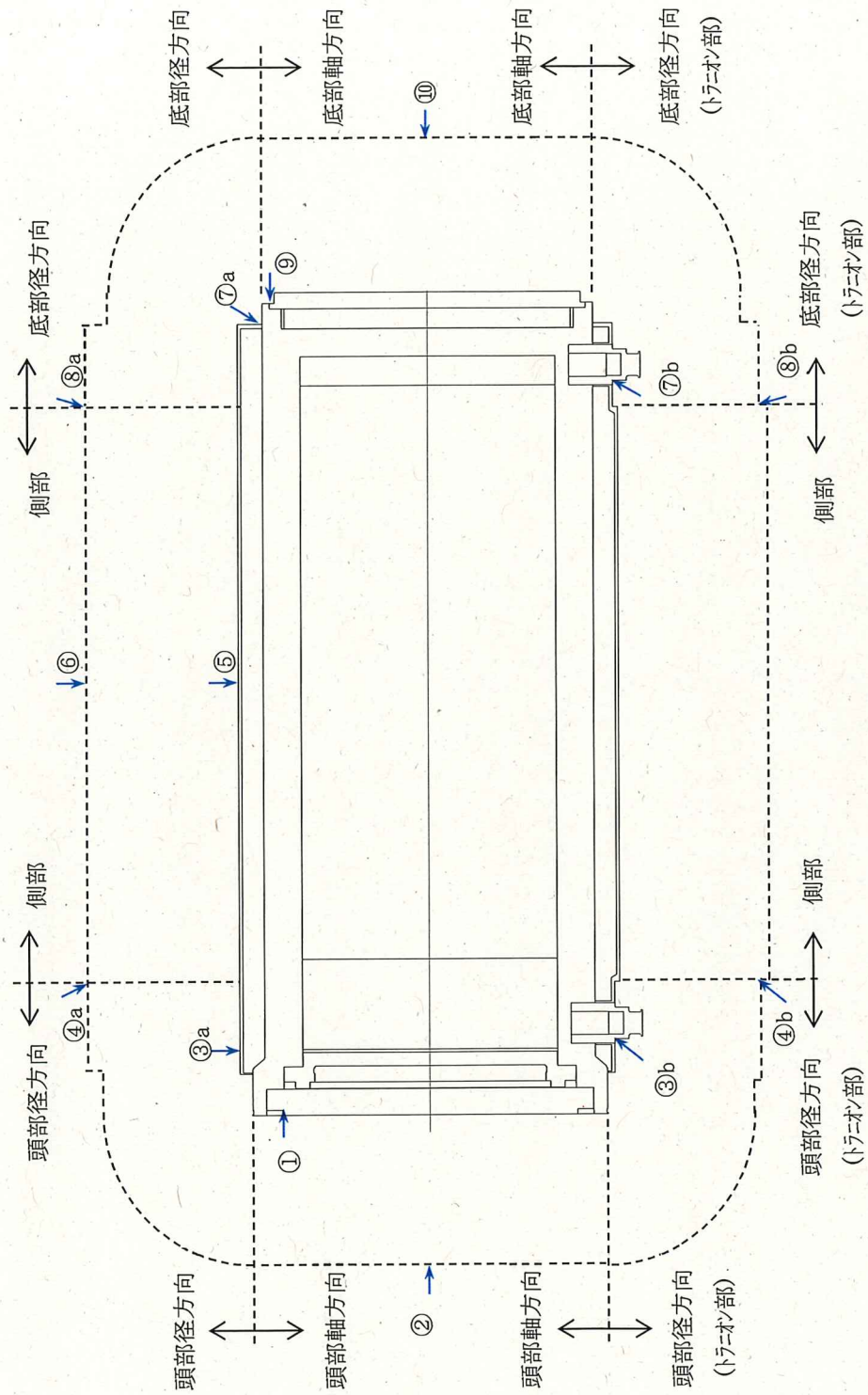
金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW 以下

図 2-2-3 使用済燃料の収納配置条件(配置(iii))
 (新型 8×8 燃料のみを収納する場合)



	中央部燃料上部構造材領域		外周部燃料上部構造材領域
	中央部燃料燃料有効部領域		外周部燃料燃料有効部領域
	中央部燃料下部構造材領域		外周部燃料下部構造材領域
	胴, 底板, 一次蓋, 二次蓋, 外筒(炭素鋼)		
	蓋部中性子遮蔽材カバー(ステンレス鋼)		
	中性子遮蔽材領域(レジン+炭素鋼+銅)		
	中性子遮蔽材領域(レジン+炭素鋼)		
	中性子遮蔽材領域(レジン)		ボイド

図 2-3 HDP-69B(B)型の遮蔽解析モデル化の概要



注記*1: ①~⑩は評価方向ごとの最大線量当量率位置を示しており, 評価結果を表 2-7-1 及び表 2-7-2 に示す。

図 2-4 線量当量率評価位置 (配置 (i), (ii))

表 2-1 HDP-69B(B)型の主要部位の構成部材

部位	構成部材
胴	炭素鋼
中性子遮蔽材	レジン*1
伝熱フィン	炭素鋼(銅クラッド鋼)
外筒	炭素鋼
一次蓋	炭素鋼
二次蓋	炭素鋼
バスケット	ステンレス鋼 (中性子吸収材を添加) アルミニウム合金

注記*1：遮蔽評価ではレジンの密度 g/cm³ に設計貯蔵期間中の減損を考慮する(別紙1参照)。中性子遮蔽能力はほぼレジン中の水素の密度で決まることから、密度測定によってレジンの最小密度が基準値を下回らないことを確認する。

内は商業機密のため、非公開とします。

表 2-2 使用済燃料の線源強度計算条件(1/2)

燃料種類		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 燃料	
		配置(i)				配置(iii)	
使用済燃料の 収納配置条件*1		配置(i)				配置(iii)	
燃焼度(MWd/t)		34,000	40,000	34,000	40,000	29,000	34,000
比出力(MW/t)		25.3	同左	26.2	同左	25.3	同左
照射 期間 (日)	燃料集合体	1344	1582	1298	1527	1147	1344
	チャンネル ボックス						
濃縮度(wt%)		2.88	同左	3.35	同左	2.88	同左
冷却期間(年)		18	同左	18	同左	28	同左
ウラン重量(kg)		177	同左	174	同左	177	同左

注記*1：図 2-2-1～図 2-2-3 参照

表 2-2 使用済燃料の線源強度計算条件(2/2)

燃料種類		新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8 燃料	
使用済燃料の 収納配置条件*1		配置(ii)		
燃焼度(MWd/t)		40,000	40,000	48,000
比出力(MW/t)		25.3	26.2	同左
照射 期間(日)	燃料集合体	1582	1527	1833
	チャンネルボックス			
濃縮度(wt%)		2.88	3.35	同左
冷却期間(年)		22	22	20
ウラン重量(kg)		177	174	同左

注記*1：図 2-2-1～図 2-2-3 参照

表 2-3 使用済燃料の線源強度計算方法

項目	計算方法	計算条件
燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃料計算コード ORIGEN2 を用い、ガンマ線及び中性子源強度を計算。使用済燃料のピーキングファクターを考慮。また、中性子については実効増倍率を考慮。	燃料条件：表 2-2 参照 図 2-2-1～図 2-2-3 参照 ライブラリ：BWR-U ライブラリ 中性子実効増倍率の考慮 $N_s = N_o / (1 - k_{eff})$ N_s ：全中性子線源強度 N_o ：一次中性子線源強度 k_{eff} ：使用済燃料貯蔵時における実効増倍率
使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の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 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A ：放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o ：ターゲット核種 (^{59}Co) の個数 (atoms) σ ：2200 m/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 ($\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) λ ： ^{60}Co の崩壊定数 (1/日) T_1 ：照射期間 (日) (表 2-2 参照) T_2 ：冷却期間 (日) (表 2-2 参照)

表 2-4 金属キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度

使用済燃料の種類		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		新型 8×8 燃料
使用済燃料の 収納配置条件		配置 (i)	配置 (ii)	配置 (iii)
濃縮度 (wt%)		2.88 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) 3.35 (高燃焼度 8×8 燃料)		2.88
燃焼度 (MWd/t)	外周部	34,000	40,000	29,000
	中央部	40,000	48,000	34,000
冷却年数 (年)		18	22 (外周) 20 (中央)	28
使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)		8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	6.0×10^{16}
使用済燃料構造材の放射化 によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq)		1.3×10^{14}	1.1×10^{14}	3.1×10^{13}
使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度 (n/s)*1		1.4×10^{10}	1.5×10^{10}	5.0×10^9

注記*1：中性子実効増倍率の効果を考慮した値である。

表 2-5 遮蔽解析の保守性

項目	内容
金属キャスクのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・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(別紙4参照)。 ・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(別紙5参照)。
燃料集合体のモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵時は燃料が底に接し、蓋と燃料の間は接していないが、頭部評価モデルにおいて燃料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(別紙1-4図参照)。 ・チャンネルボックスは、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果は無視する保守的な組合せを仮定。
線源強度	<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{*1}の燃料、外周部に平均燃焼度^{*2}の燃料を配置している。 ・収納燃料全数の冷却期間は、最短冷却期間^{*3}と仮定。
劣化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果等の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの質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(別紙1の3項参照)。

注記*1：HDP-69B(B)型に収納可能な使用済燃料の燃焼度の上限。

*2：HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の燃焼度の平均値の上限。

*3：HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の最短の冷却期間。

表 2-6 遮蔽解析の不確かさの考慮

項目	内容
寸法公差	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

表 2-7-1 線量当量率評価結果 (配置 (i))

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側中央部	底部			
	軸方向	径方向	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	軸方向	
								①
表面	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0
	ガンマ線	4.9	132.5	110.4	< 0.1*1	12.8	63.2	19.1
	二次ガンマ線	0.7	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3
	中性子	188.2	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9
合計	193.9	388.9	618.2	195.5	725.6	1107.7*2	290.3	
評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から 1 m	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9
	ガンマ線	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*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 1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

表 2-7-2 線量当量率評価結果(配置(ii))

(単位: μ Sv/h)

評価点	頭部			側中部	底部				
	軸方向	径方向	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	軸方向		
								①	③a
表面	燃料有効部	0.1	0.4	0.4	80.9	0.7	14.4	1.7	
	ガンマ線	構造材放射化	3.7	100.1	< 0.1 ^{*1}	8.7	43.4	13.0	
		二次ガンマ線	0.8	2.5	2.6	29.4	3.9	6.7	1.9
	中性子	230.2	313.2	626.2	81.7	587.3	859.4	221.0	
合計	234.8	416.2	712.7	192.1	600.6	923.9 ^{*2}	237.6		
評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩		
表面から 1 m	燃料有効部	0.3	11.4	11.4	33.1	16.5	16.5	2.1	
	ガンマ線	構造材放射化	38.4	18.5	18.5	1.5	5.6	5.6	48.1
		二次ガンマ線	0.2	3.9	3.9	10.9	5.1	5.1	0.7
	中性子	34.6	21.2	25.7	28.7	12.5	22.0	13.0	
合計	73.5	55.0	59.5	74.2 ^{*2}	39.7	49.2	63.9		

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 1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

HDP-69B(B)型の遮蔽解析条件について

1. 使用済燃料の線源強度について

使用済燃料の線源強度は、「燃料有効部からのガンマ線」、「燃料有効部からの中性子」、「使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線」に分けて計算する。

金属キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度を別紙 1-1 表に示す。

遮蔽解析に用いる使用済燃料の代表配置は、別紙 1-1 表より線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置 (i), (ii) とした。

配置 (i), (ii) の線源強度条件について、以下に示す。

(1) 配置 (i) の線源強度条件

配置 (i) では、金属キャスク中央部、外周部ともに新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8×8 燃料どちらの燃料も収納することができる。

別紙 1-2 表及び別紙 1-3 表に新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合と、高燃焼度 8×8 燃料を全数収納した場合の線量当量率評価結果を示す。また、別紙 1-1 図に評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を示す。

いずれの評価位置においても新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合の方が線量当量率が高いため、配置 (i) の遮蔽解析では新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合の線源強度を用いる。

(2) 配置 (ii) の線源強度条件

配置 (ii) では、金属キャスク中央部に収納する燃料は高燃焼度 8×8 燃料のみであるが、外周部には新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8×8 燃料どちらの燃料も収納することができる。よって、外周部の線源強度は「燃料有効部からのガンマ線」、「燃料有効部からの中性子」、「使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線」それぞれについて、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度 8×8 燃料の線源を包絡する、以下の線源強度を用いる。

- ・燃料有効部からのガンマ線
各ノードのエネルギー群ごとに線源強度を比較し、包絡値を用いる。
- ・燃料有効部からの中性子
各ノードの線源強度を比較し、包絡値を用いる。
- ・使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線
新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の方が照射期間が長いため、線源強度は大きくなる。よって、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の線源強度を用いる。

配置(i), (ii)について, 燃料有効部のガンマ線のエネルギーごとの線源強度を別紙 1-2 図に示す。遮蔽解析に用いる中性子線源のエネルギースペクトルは, 線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い ^{239}Pu の核分裂スペクトルとする。解析に用いる中性子線源スペクトルを別紙 1-4 表に示す。

2. 遮蔽解析のモデル化について

遮蔽解析では, 従来の使用済燃料輸送金属キャスクの遮蔽解析で実績のある二次元輸送計算コードDOT3.5により, R-Z体系の有限円筒モデル(以下「本体モデル」という。)で評価している。ただし, 有限円筒モデルで直接モデル化できない使用済燃料, バスケット, トラニオン等は, 構造上の特徴を考慮して, 均質化あるいは線束の引継ぎによって評価している。なお, 本体モデルは, 金属キャスク中央付近で二分割している。

(1) 燃料領域

燃料領域(線源領域)については, 燃料とバスケットを均質化したモデルとしている。別紙 1-3 図に示すとおり, 中央部燃料, 外周部燃料それぞれの占有領域の断面積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。

また, 使用済燃料の軸方向位置は, 頭部側は蓋に, 底部側は底板に接したモデルとなっている。モデル化の考え方の概略を以下に示す(別紙 1-4 図参照)。

縦置き状態においては, 使用済燃料は底板に接した状態(バスケット内にある)となっており, 使用済燃料上端と蓋底面との間には隙間が存在する。解析のモデル化においては, 燃料有効部中央において燃料を 2 分割し, 頭部モデルにおいては安全側に使用済燃料を蓋に接したモデルとしている。この際, バスケットは底に接した状態のまま(バスケットから燃料構造材の先端が飛び出したモデル)とする。したがって, 遮蔽解析モデルとしては, 使用済燃料上端と蓋底面との隙間分だけ使用済燃料が頭部に近くなるため, 保守的な評価である。

モデル化において, 燃料長さは維持されており, 金属キャスク中央部の評価に影響することはない。また, バスケットから燃料構造材の先端が飛び出したモデルであるため, 軸方向に燃料構造材のみの領域とバスケットと燃料構造材からなる領域ができることになる(ハンドル部は 2 領域になる。)

(2) バスケット外周部

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, 最外周のバスケット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の設定である(別紙 1-3 図参照)。

(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。安全側であることの確認結果を別紙4に示す。

(4) トラニオン部の評価方法

トラニオン部については、実形状を模擬して別途モデル化し、DOT3.5を用いて評価している。

トラニオンを無視した本体モデルにて得られたトラニオン付近の線束を、別途モデル化したトラニオンR-Z軸対称モデル(トラニオン有モデル/無モデル)に引継いでいる。概略図を別紙1-5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金属キャスク本体の一部を含めモデル化している。

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。トラニオン部の評価の詳細を別紙5に示す。

3. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について

HDP-69B(B)型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。

ただし、中性子遮蔽材であるレジンについては、設計貯蔵期間後の熱による質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。

中性子遮蔽材であるレジンの長期使用による質量減損は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 0.83 \times 10^{-3} \times E_p - 11.1^{(1)}$$

ここで、

Δw : レジンの質量減損率(%)

E_p : 劣化パラメータ = $T \times (24.2 + \ln(t))$

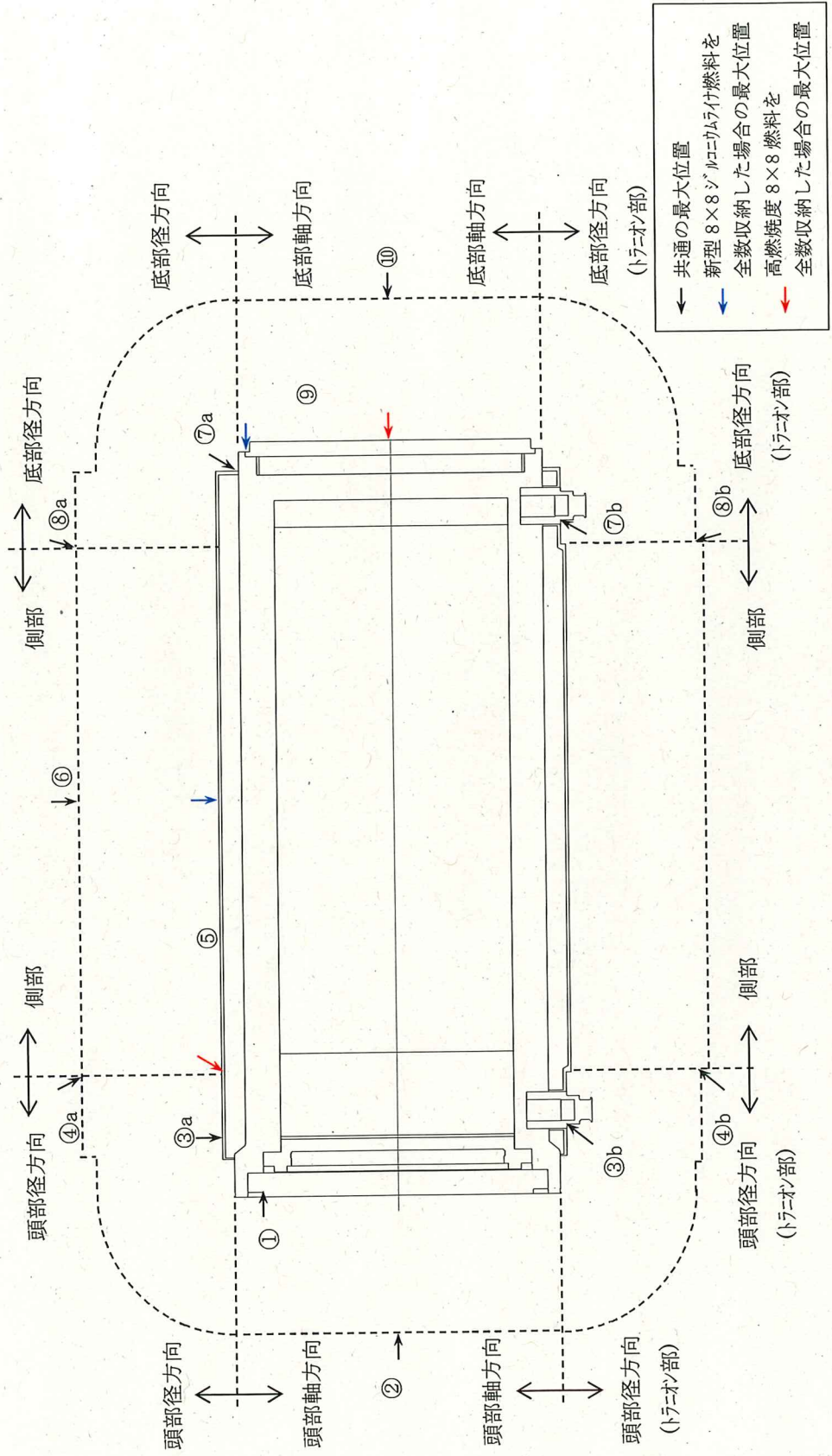
T : レジン温度(K)

t : レジン加熱時間(h)

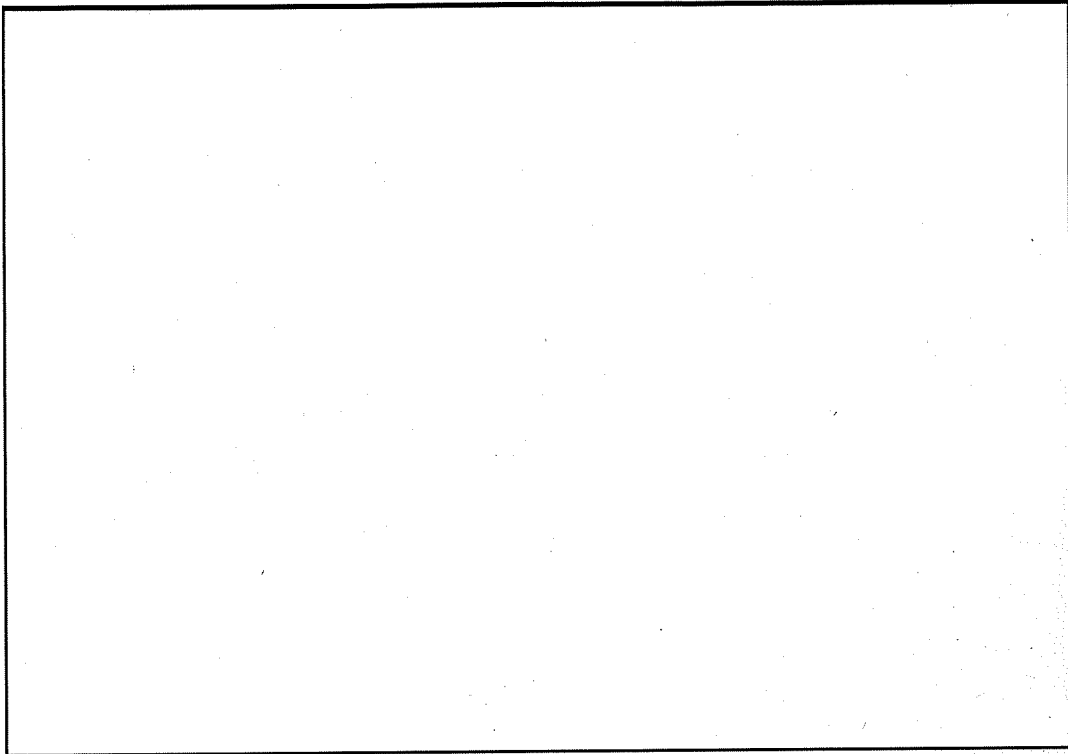
設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時までのレジンの減損率は約1%となる。これを丸めて2%の減損があるとして評価する。

4. 参考文献

- (1) Kumagai, 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 PATRAM (2007)



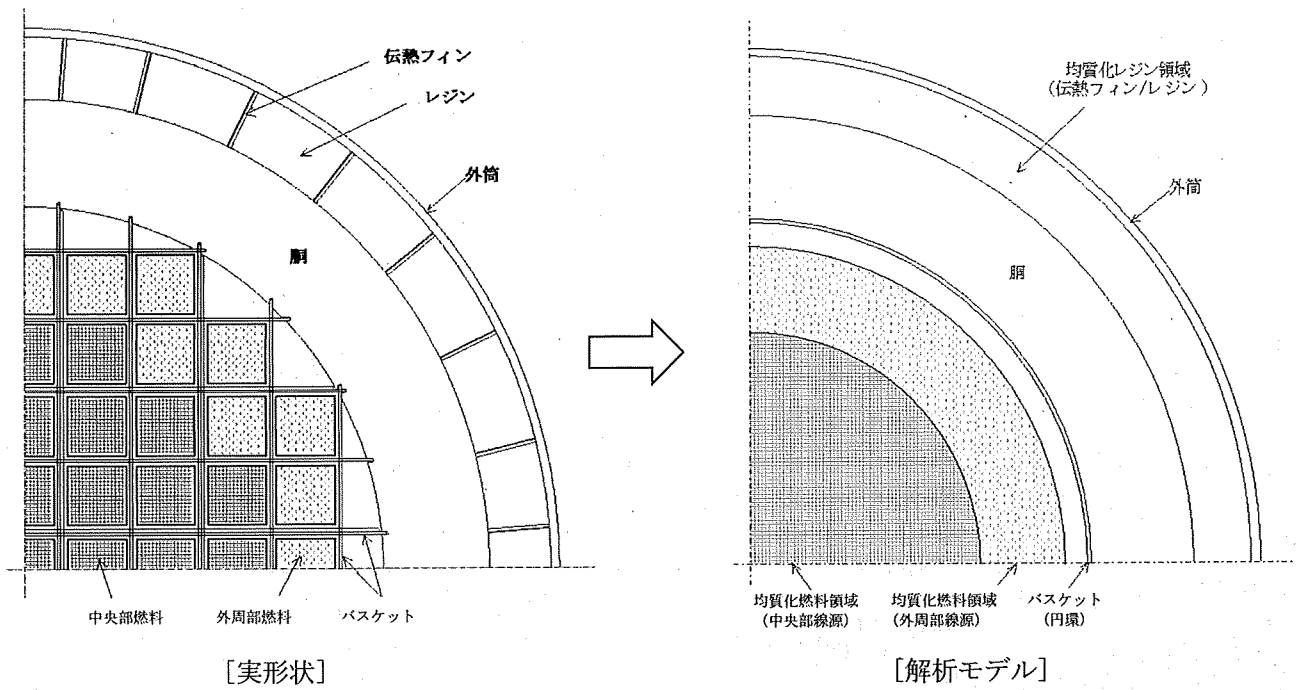
注記*1: ①~⑩は評価方向ごとの最大線量当量率位置を示しており, 評価結果を別紙 1-2 表及び別紙 1-3 表に示す。
 別紙 1-1 図 線量当量率評価位置(配置(i))-新型 8×8 ジルコニウム燃料, 高燃焼度 8×8 燃料



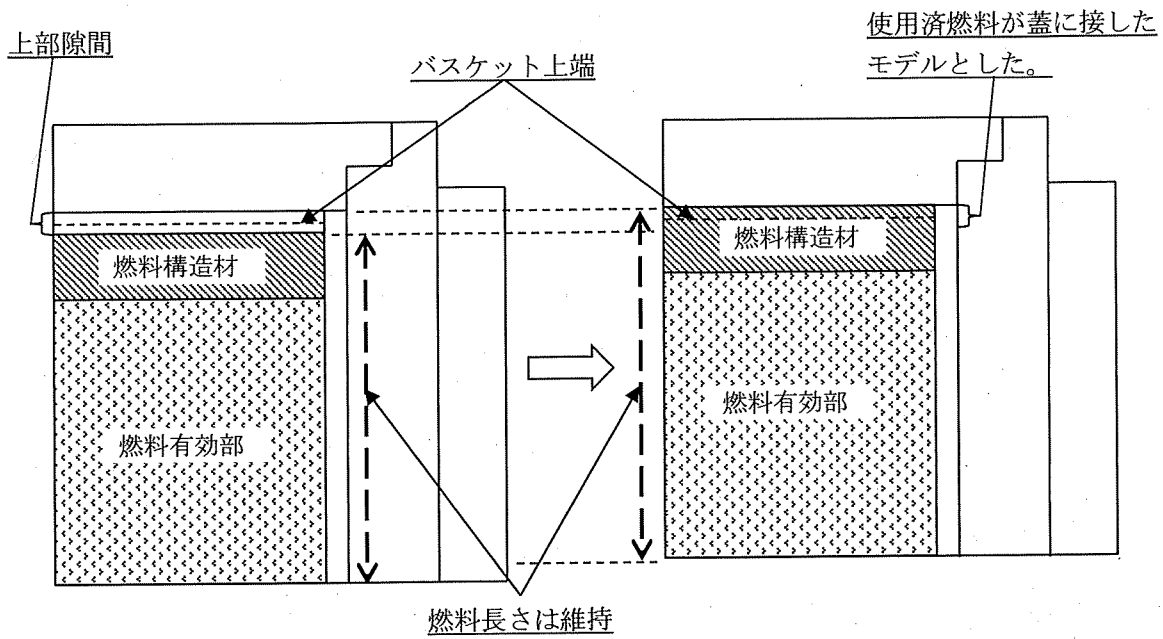
別紙 1-2 図 燃料有効部ガンマ線のエネルギーごとの線源強度
(配置(i), (ii))

別紙 1-6

内は商業機密のため、非公開とします。



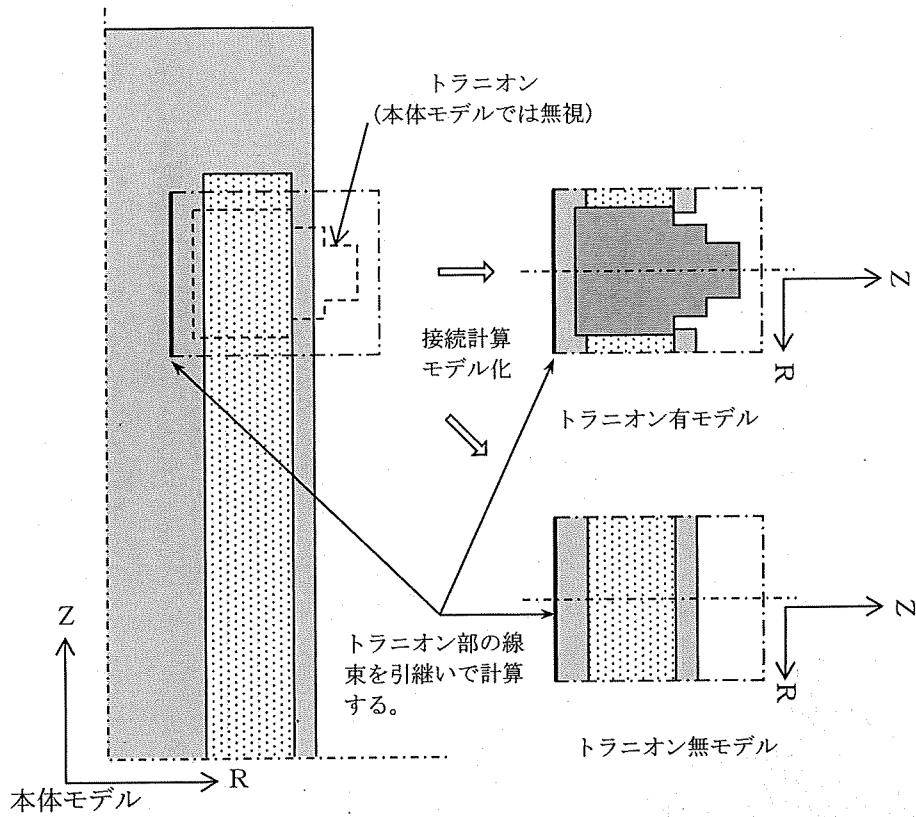
別紙 1-3 図 金属キャスク中央断面の実形状と解析モデル



[縦置き状態での位置関係]

[モデル化後]

別紙 1-4 図 使用済燃料軸方向位置モデル化の概要図



別紙 1-5 図 トラニオン部線束引継ぎの概略図

別紙 1-1 表 金属キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度

使用済燃料の種類		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		新型 8×8 燃料
使用済燃料の 収納配置条件		配置 (i)	配置 (ii)	配置 (iii)
濃縮度 (wt%)		2.88 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) 3.35 (高燃焼度 8×8 燃料)		2.88
燃焼度 (MWd/t)	外周部	34,000	40,000	29,000
	中央部	40,000	48,000	34,000
冷却年数 (年)		18	22 (外周) 20 (中央)	28
使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)		8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	6.0×10^{16}
使用済燃料構造材の放射化 によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq)		1.3×10^{14}	1.1×10^{14}	3.1×10^{13}
使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度 (n/s) *1		1.4×10^{10}	1.5×10^{10}	5.0×10^9

注記*1：中性子実効増倍率の効果を考慮した値である。

別紙1-2表 配置(i)の線量当量率評価結果
(新型8×8ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側中部	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		⑦a	⑦b	⑨	
表面	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0
	構造材放射化	4.9	132.5	110.4	< 0.1*1	12.8	63.2	19.1
	二次ガンマ線	0.7	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3
	中性子	188.2	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9
合計	193.9	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 1 m	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	

注記*1: “<0.1”の値は, “0.1”として合計値に合算した。

別紙1-3 表 配置(i)の線量当量率評価結果
(高燃焼度8×8燃料を全数収納した場合)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側中央部	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		⑦a	⑦b	⑨		
表面	ガンマ線	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	10.8	0.9	17.9	6.7
		構造材放射化	4.8	131.0	108.9	152.5	12.6	62.0	137.2
		二次ガンマ線	0.5	1.6	1.7	3.3	2.5	4.3	1.3
	中性子	150.4	204.2	406.9	5.9	365.6	532.5	24.3	
	合計	155.8	337.3	518.0	172.5	381.6	616.7	169.5	
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
		構造材放射化	0.5	12.7	12.7	38.2	18.7	18.7	2.8
		二次ガンマ線	44.6	23.7	23.7	2.0	8.0	8.0	58.5
	中性子	0.1	2.5	2.5	7.2	3.5	3.5	0.5	
	合計	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	

別紙 1-4 表 中性子線源スペクトル

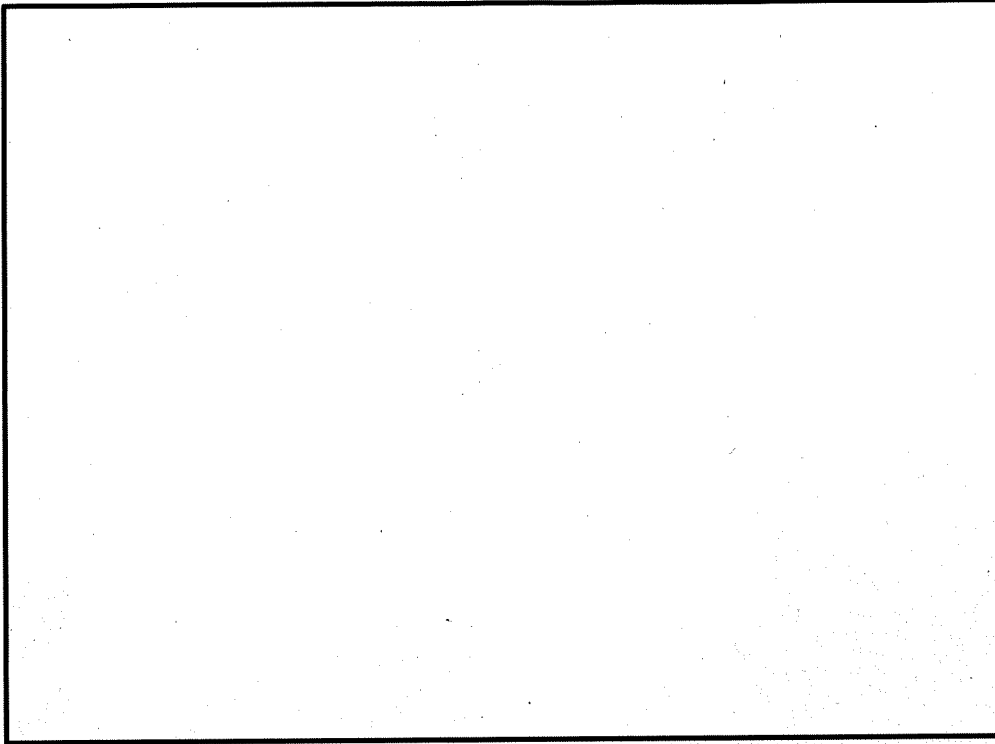
エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル*1
1	1.492×10^7	5.7×10^{-4}
2	1.220×10^7	2.0×10^{-3}
3	1.000×10^7	6.1×10^{-3}
4	8.180×10^6	2.0×10^{-2}
5	6.360×10^6	4.1×10^{-2}
6	4.960×10^6	5.3×10^{-2}
7	4.060×10^6	1.1×10^{-1}
8	3.010×10^6	8.7×10^{-2}
9	2.460×10^6	2.3×10^{-2}
10	2.350×10^6	1.2×10^{-1}
11	1.830×10^6	2.1×10^{-1}
12	1.110×10^6	1.9×10^{-1}
13	5.500×10^5	1.3×10^{-1}
14	1.110×10^5	1.6×10^{-2}
15	3.350×10^3	8.1×10^{-5}
16	5.830×10^2	5.9×10^{-6}
17	1.010×10^2	3.9×10^{-7}
18	2.900×10^1	5.5×10^{-8}
19	1.070×10^1	1.3×10^{-8}
20	3.060×10^0	1.9×10^{-9}
21	1.120×10^0	4.2×10^{-10}
22	4.140×10^{-1}	1.2×10^{-10}

注記*1: ^{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。

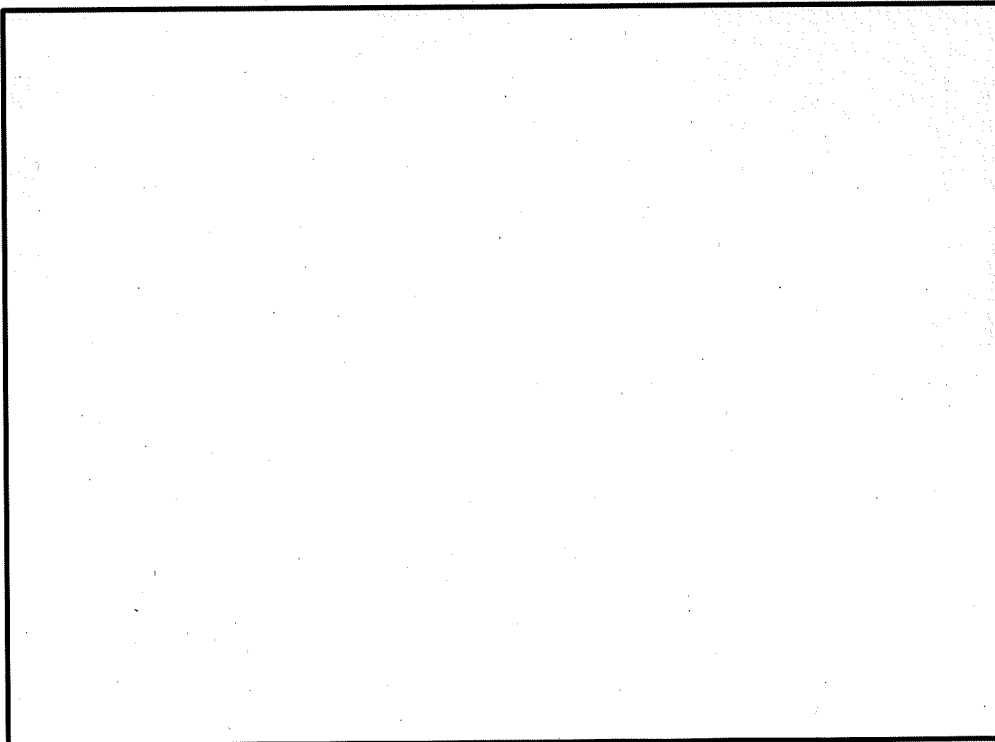
ピーキングファクターについて

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の線源強度を算出する際に用いるピーキングファクター(以下「PF」という。)は、HDP-69B(B)型が収納対象とする使用済燃料の軸方向の燃焼度を想定して設定したものである。別紙 2-1 表、別紙 2-1-1 図及び別紙 2-1-2 図に配置 (i)、(iii)及び(ii)で収納対象とする使用済燃料それぞれの PF を示す。

別紙 2-1 表、別紙 2-1-1 図及び別紙 2-1-2 図に示す PF は、HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の前提条件であり、収納する使用済燃料の軸方向燃焼度が本 PF に包絡されることは、事業許可申請において確認されるものとする。なお、包絡されない使用済燃料については、HDP-69B(B)型の収納対象外とする。




別紙 2-1-1 図 使用済燃料の PF (配置 (i), (iii))



別紙 2-1-2 図 使用済燃料の PF (配置 (ii))

別紙 2-2

 内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 2-1 表 使用済燃料の PF (1/2)

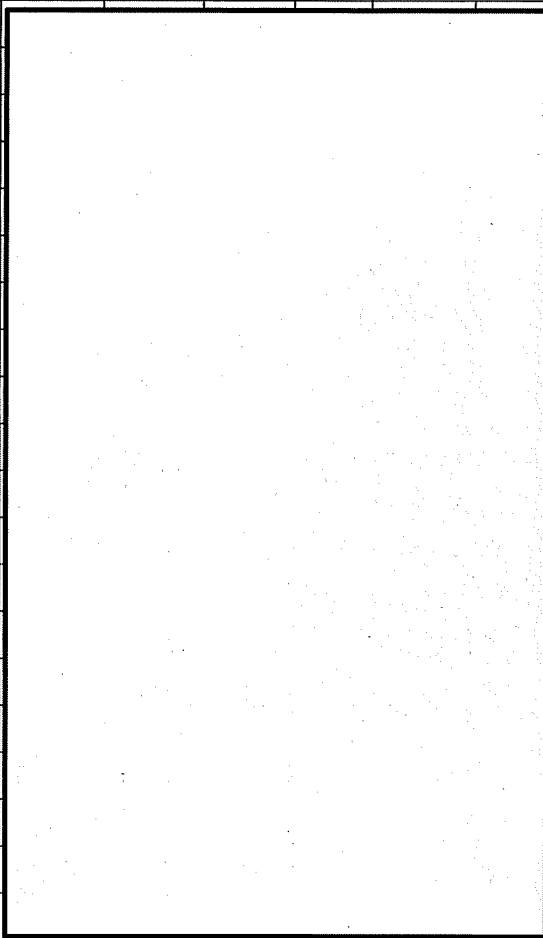
燃料種類	新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料		高燃焼度 8×8 燃料		新型 8×8 燃料	
使用済燃料の 収納配置条件	配置 (i)				配置 (iii)	
燃焼度 (MWd/t)	34,000	40,000	34,000	40,000	29,000	34,000
冷却期間 (年)	18	同左	18	同左	28	同左
PF *1						
(上部)						
(下部)						


注記*1：ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

別紙 2-3


内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 2-1 表 使用済燃料の PF (2/2)

燃料種類	新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8 燃料	
使用済燃料の 収納配置条件	配置 (ii)		
燃焼度 (MWd/t)	40,000	40,000	48,000
冷却期間 (年)	22	22	20
PF*1			
(上部)			
(下部)			

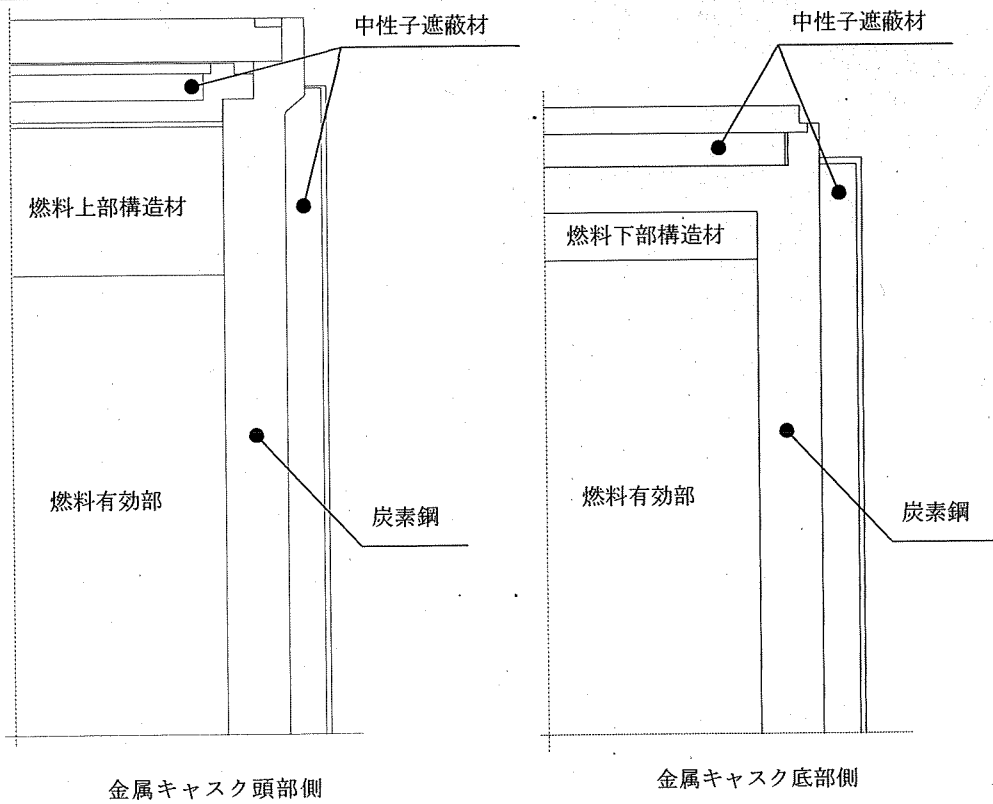
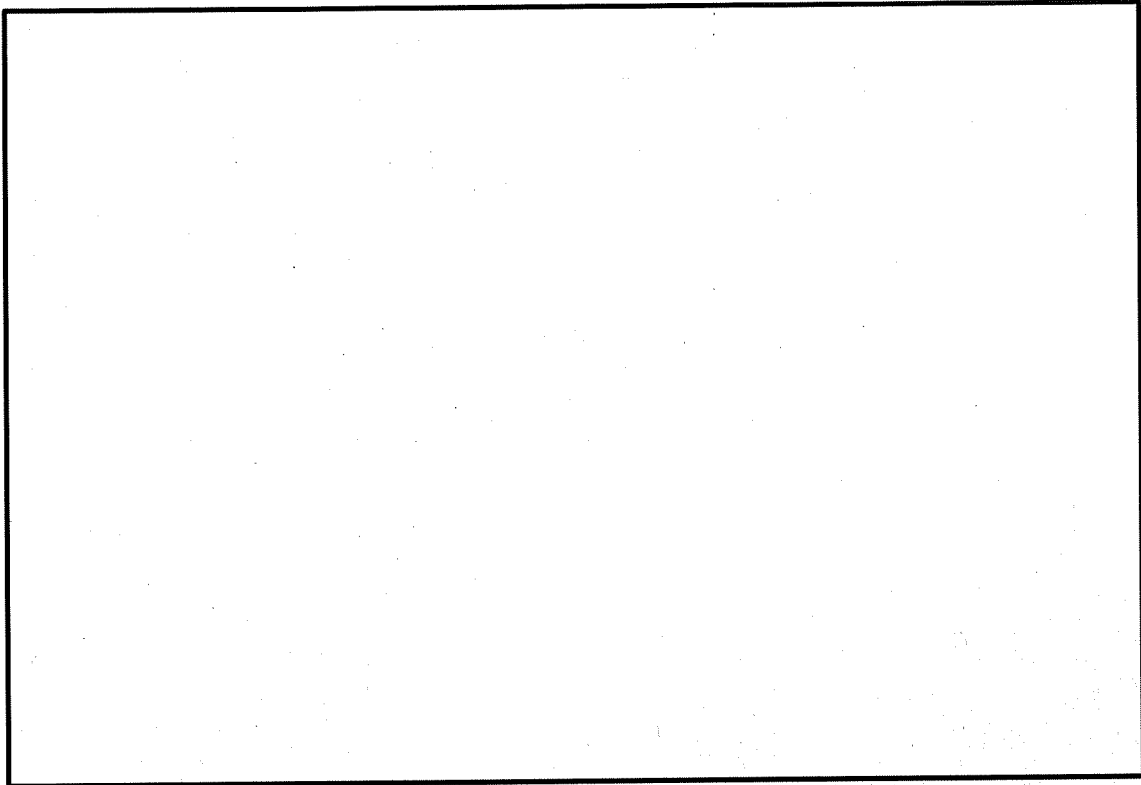
注記*1：ノードは燃料有効部を軸方向に  したものである。

別紙 2-4

 内は商業機密のため、非公開とします。

線量当量率の分布について

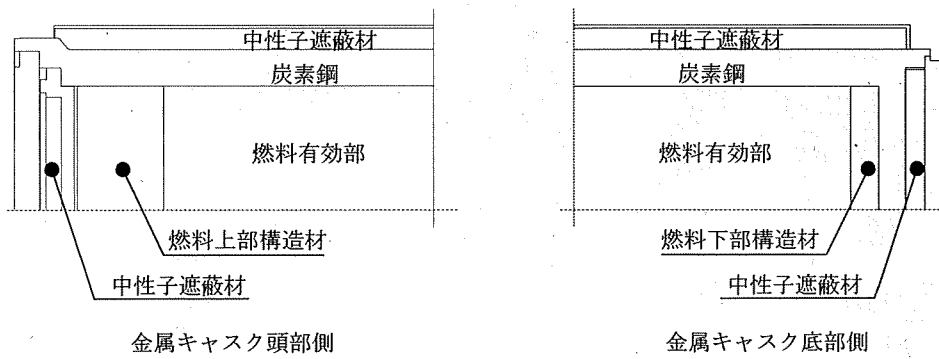
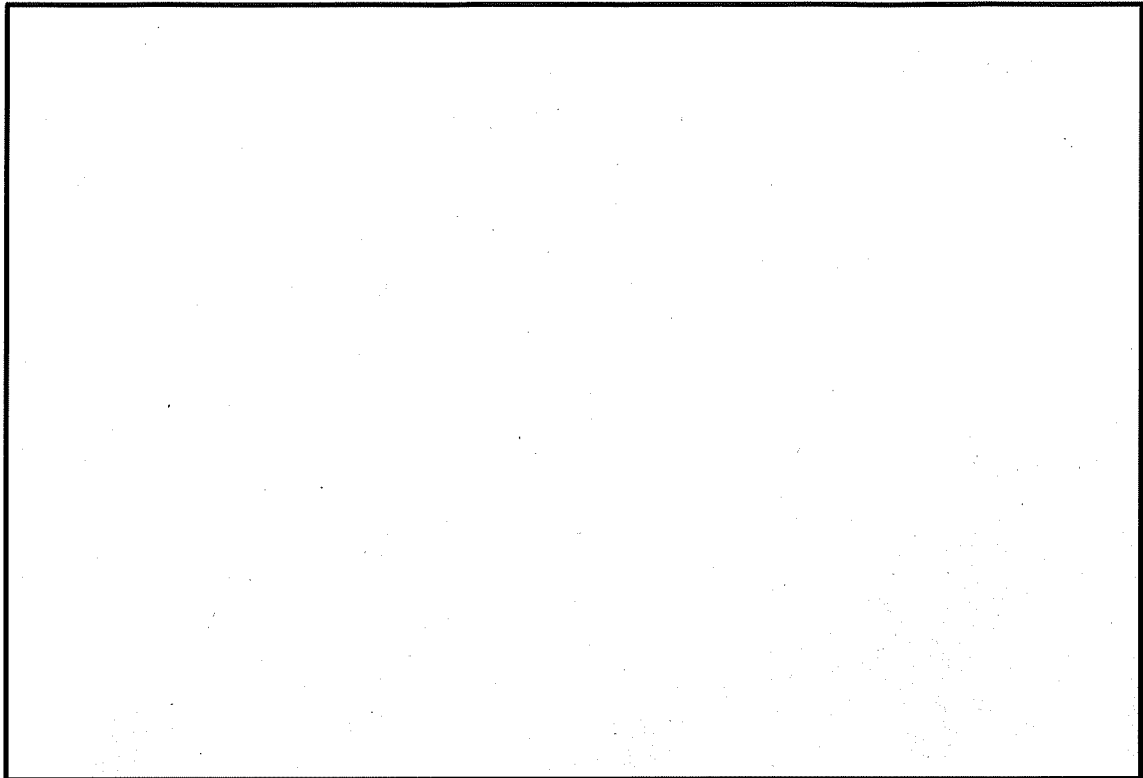
本文の表 2-7-1 に対応する各評価方向における線量当量率の分布図を別紙 3-1-1 図から別紙 3-1-6 図に示す。また、本文の表 2-7-2 に対応する各評価方向における線量当量率の分布図を別紙 3-2-1 図から別紙 3-2-6 図に示す。



別紙 3-1-1 図 表面の線量当量率分布(配置(i)/頭部・底部軸方向)

別紙 3-2

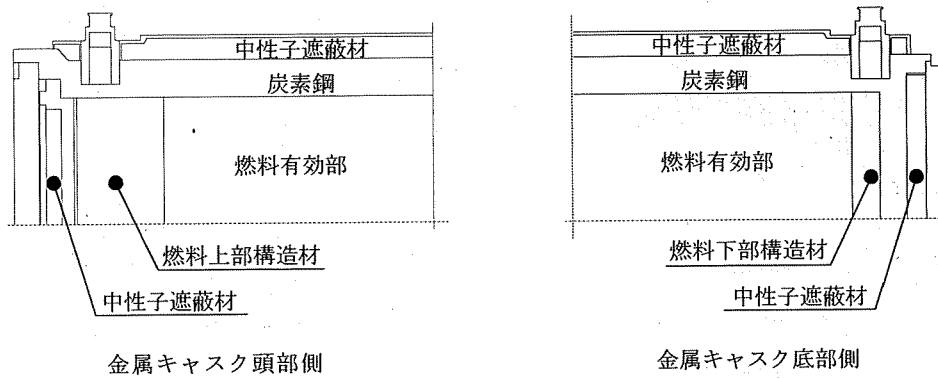
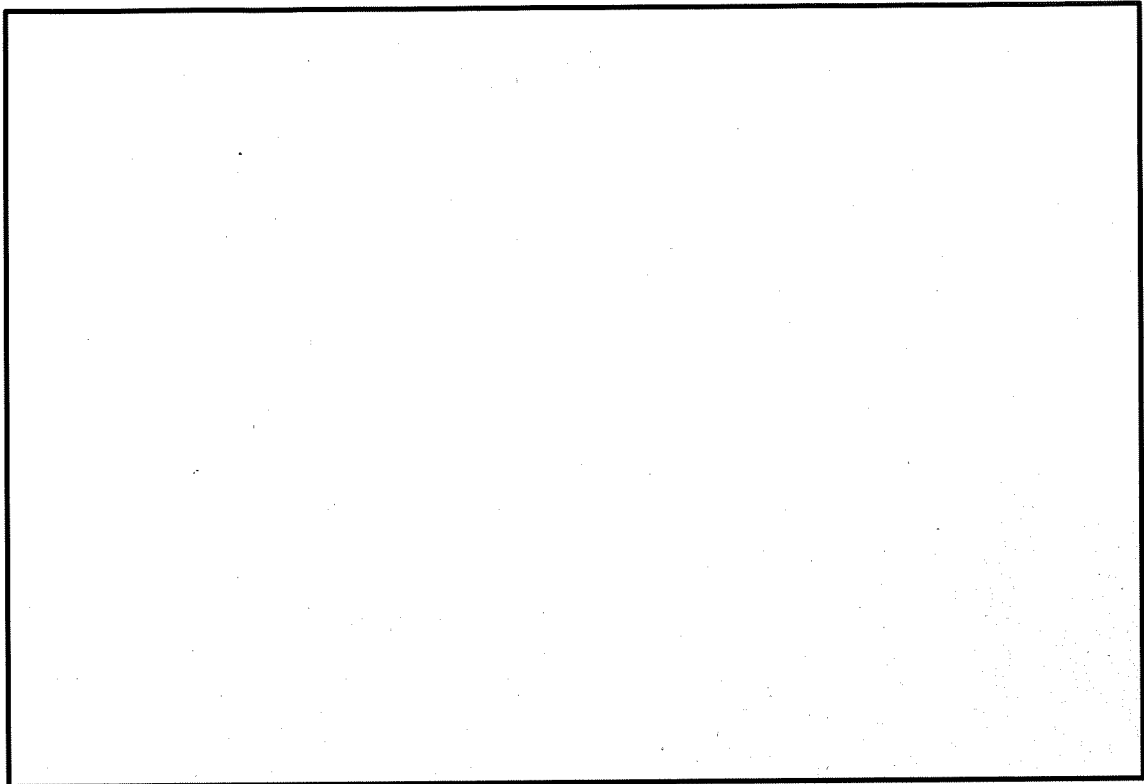
□ 内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-1-2 図 表面の線量当量率分布(配置(i)/側部方向)

別紙 3-3

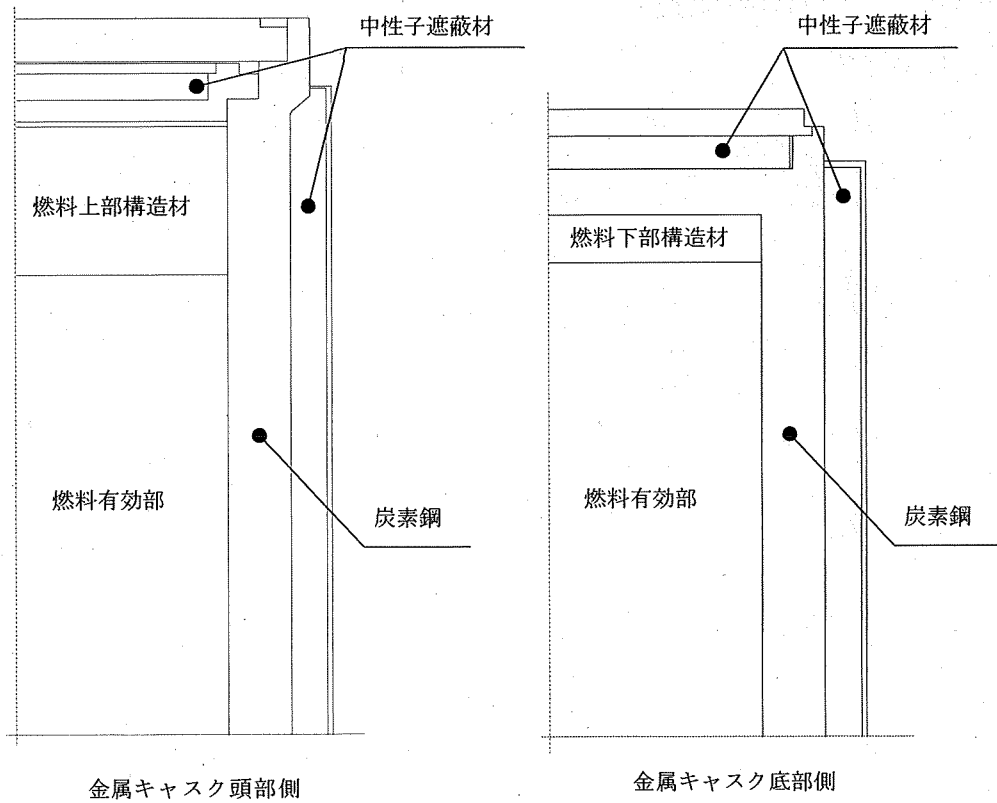
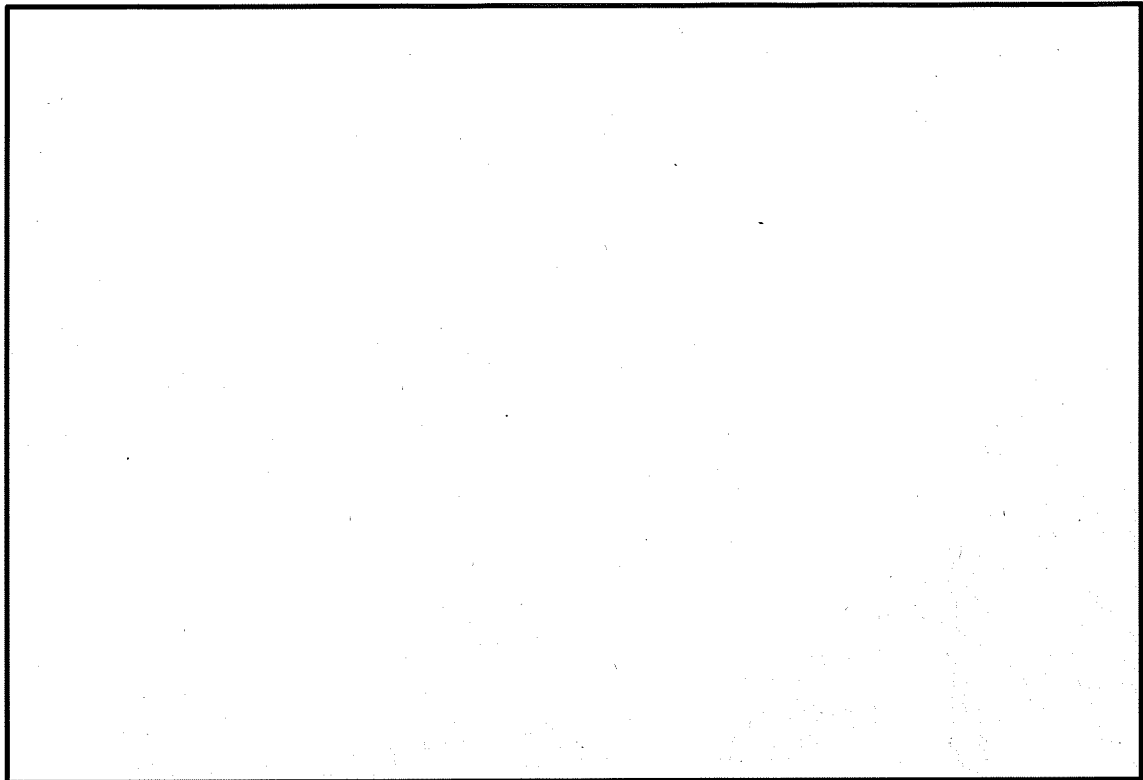
□ 内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-1-3 図 表面の線量当量率分布(配置(i)/トラニオン部近傍)

別紙 3-4

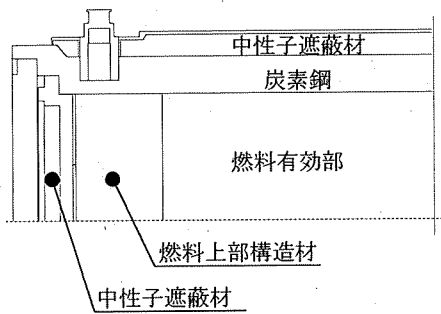
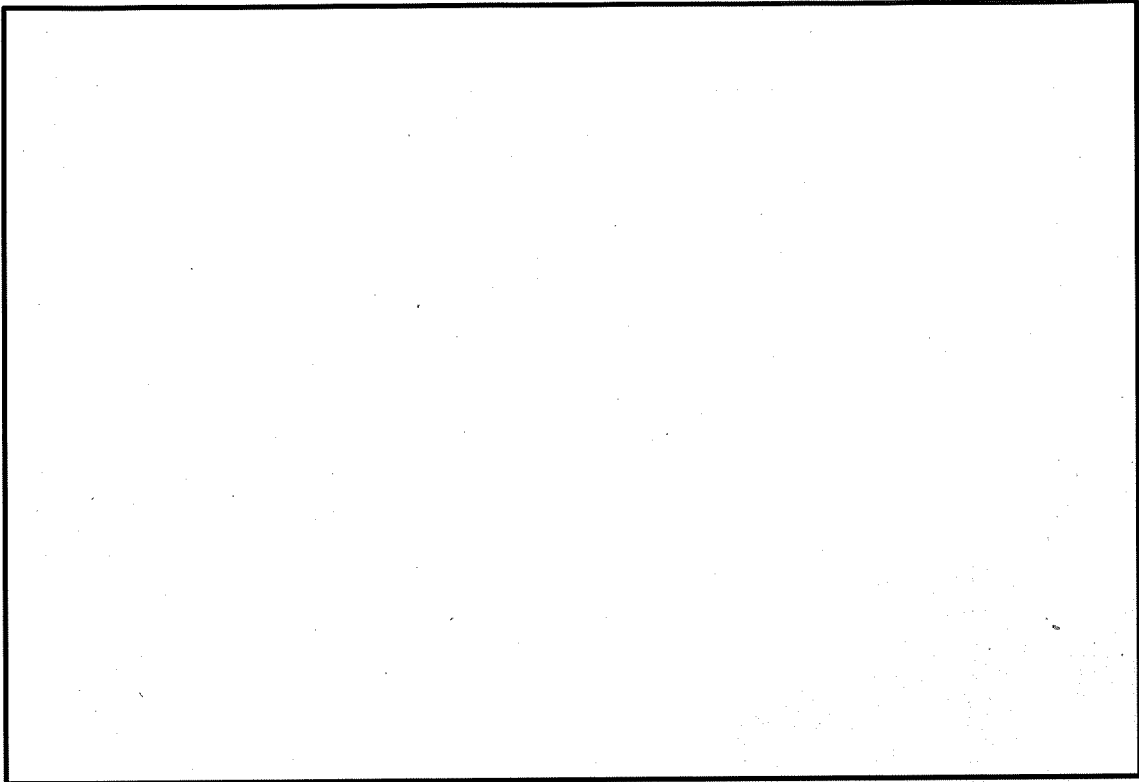
内は商業機密のため、非公開とします。



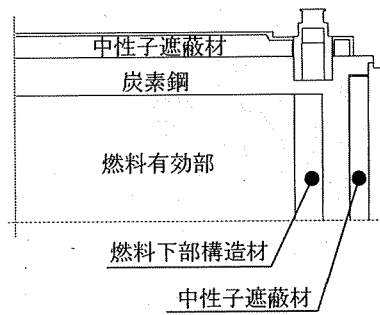
別紙 3-1-4 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布(配置(i))/頭部・底部軸方向)

別紙 3-5

□ 内は商業機密のため、非公開とします。



金属キャスク頭部側

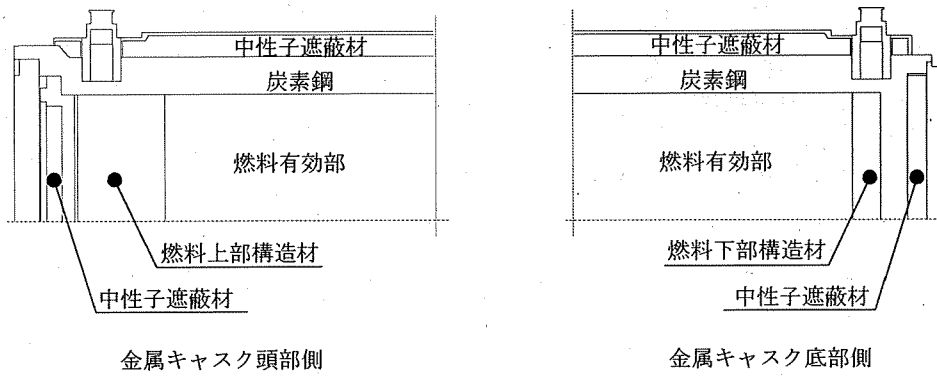
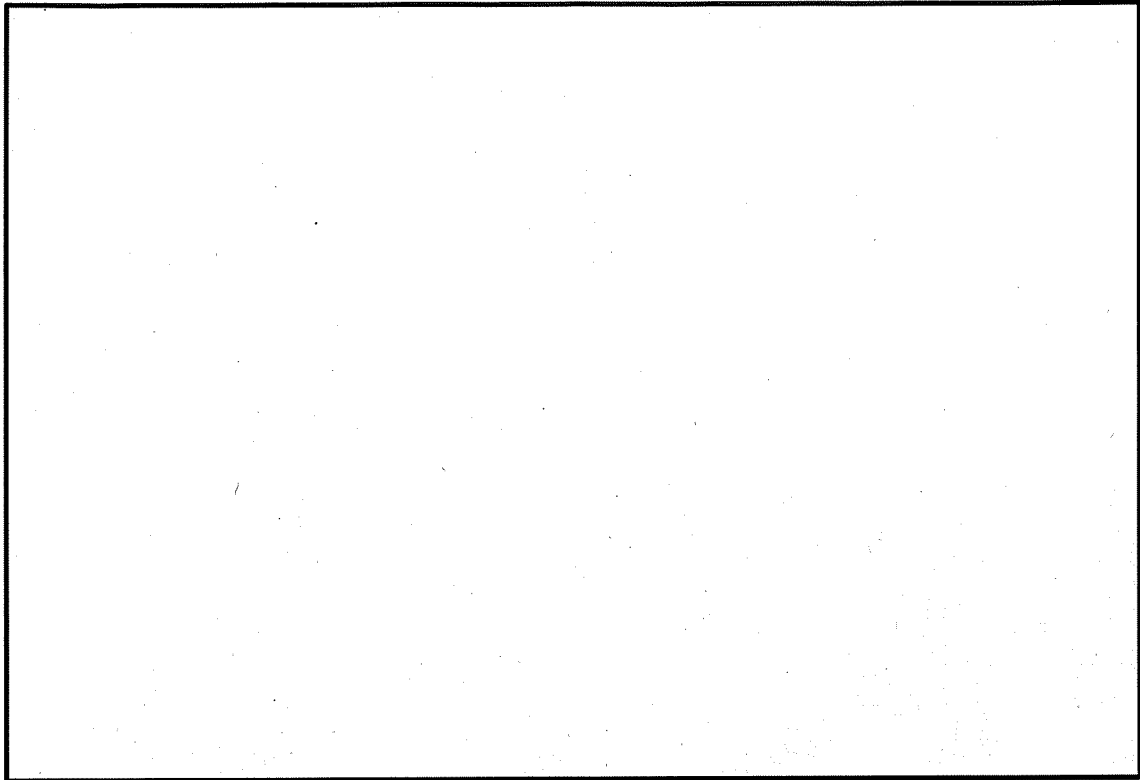


金属キャスク底部側

別紙 3-1-5 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布 (配置 (i) / 側部方向)

別紙 3-6

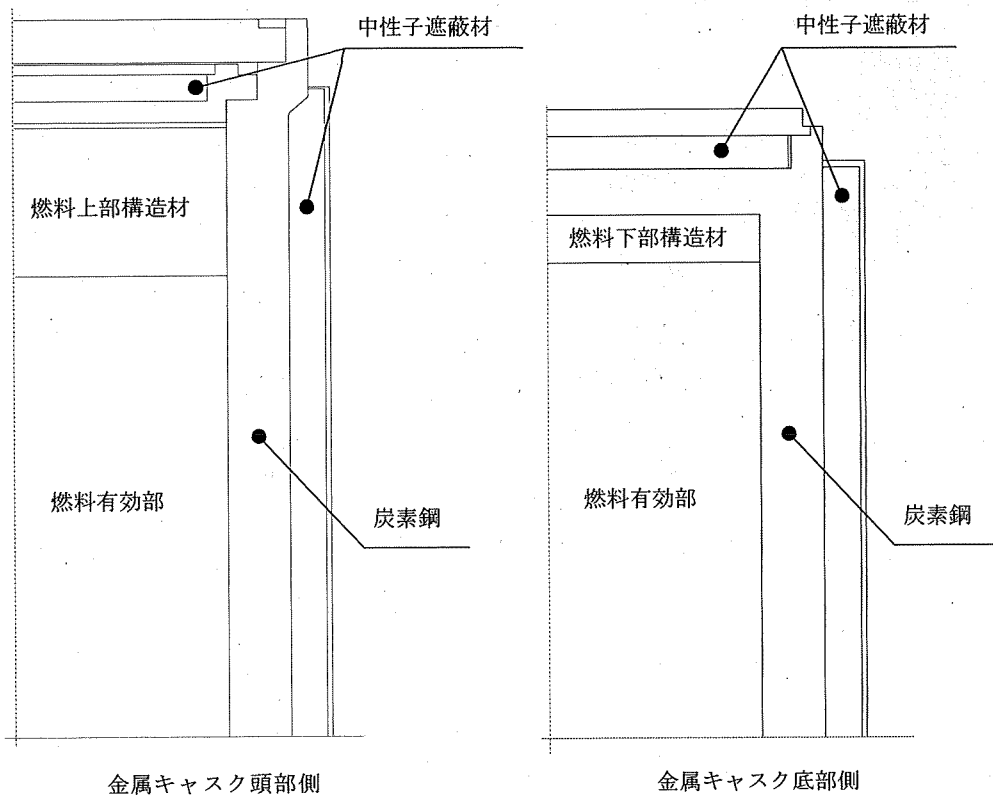
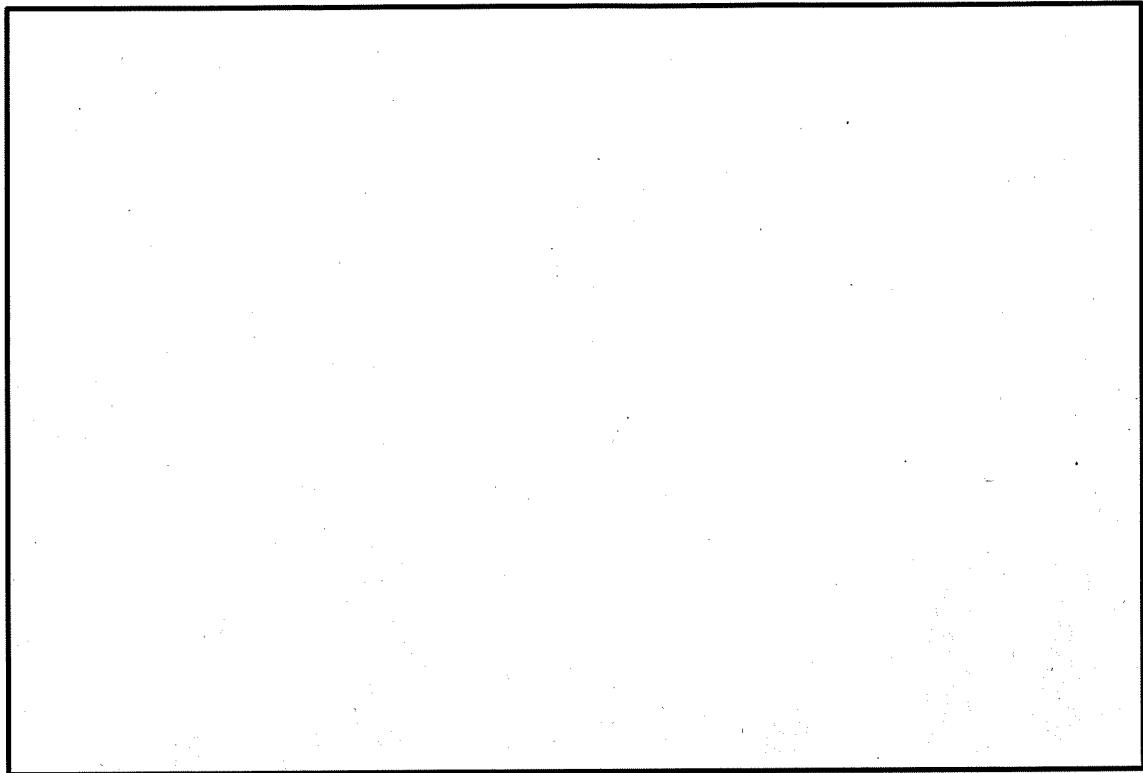
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-1-6 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布 (配置 (i) / トラニオン部近傍)

別紙 3-7

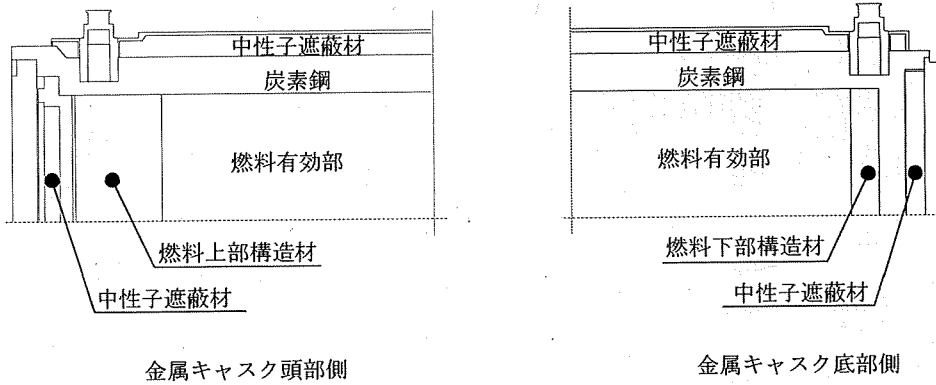
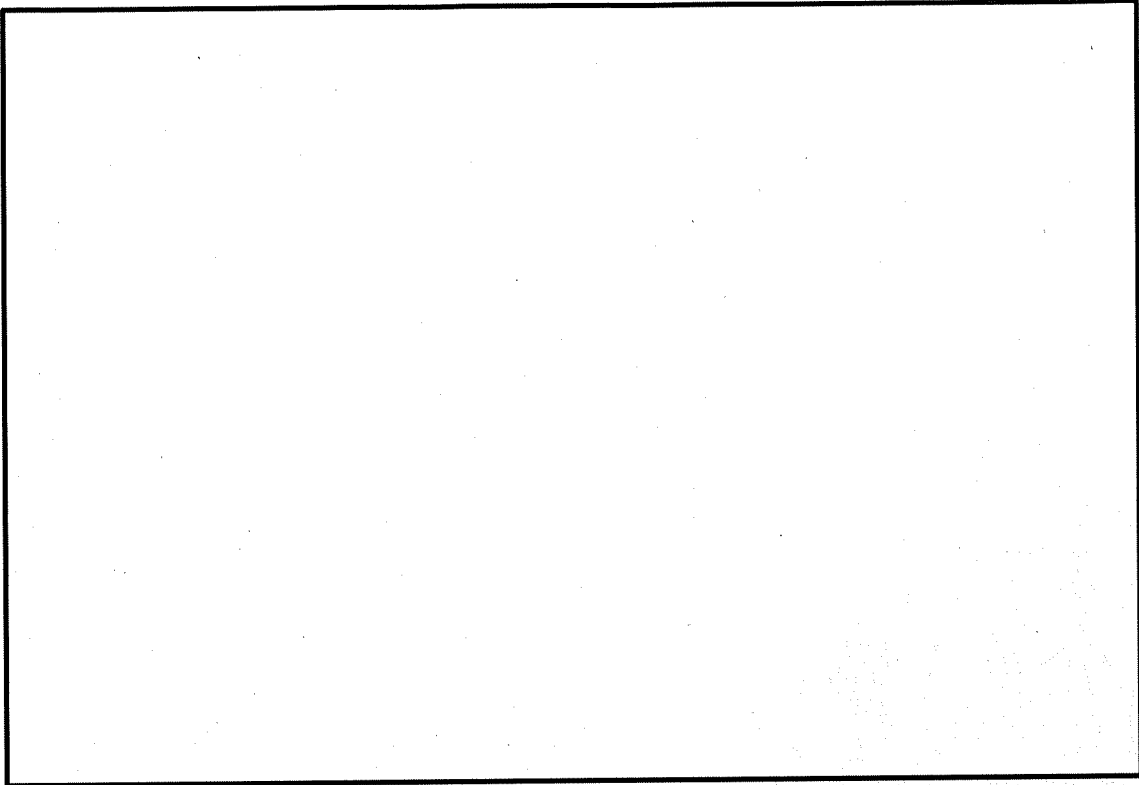
□ 内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-1 図 表面の線量当量率分布 (配置 (ii) / 頭部・底部軸方向)

別紙 3-8

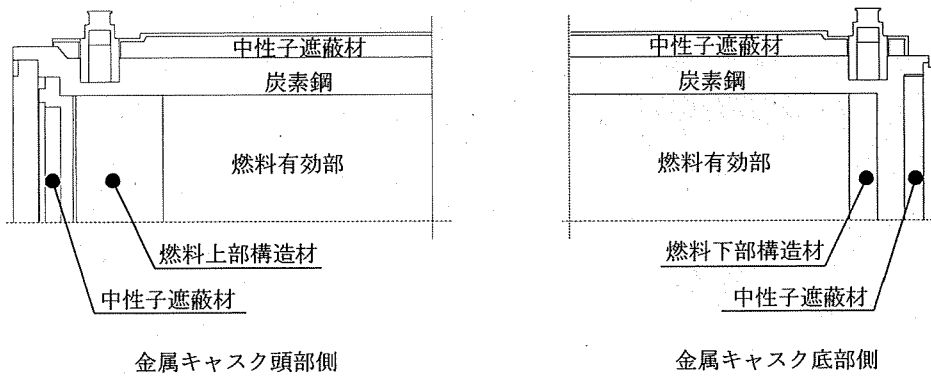
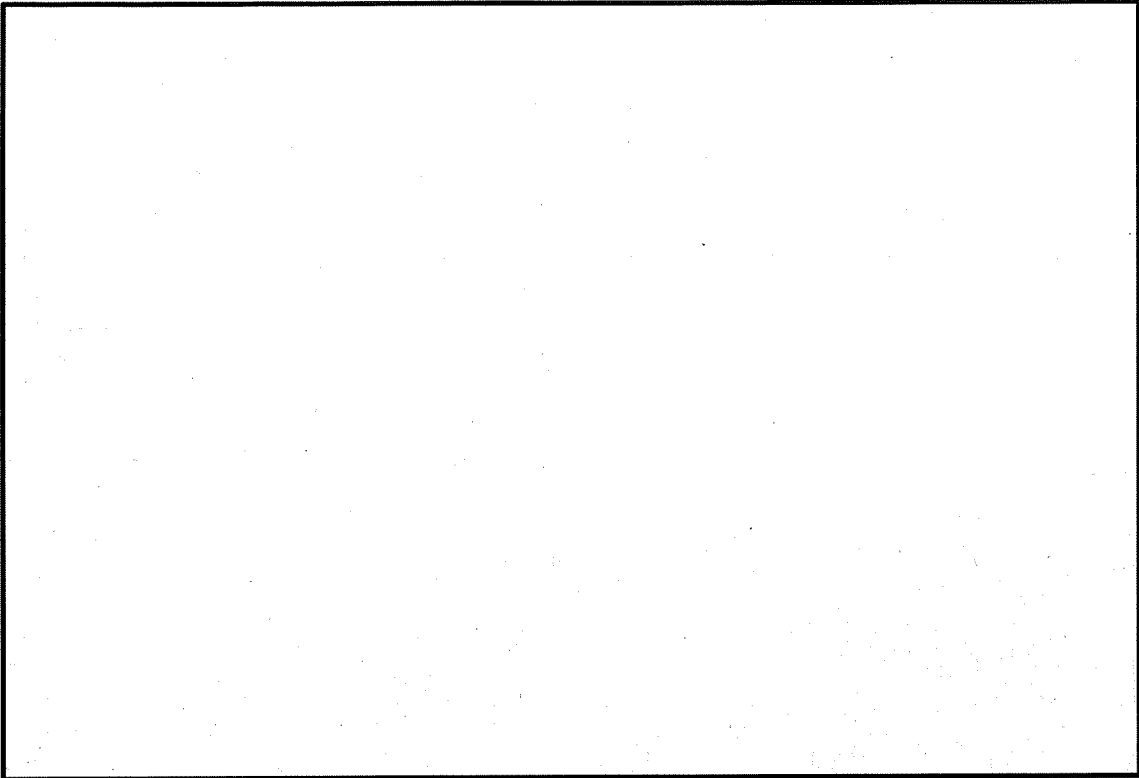
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-2 図 表面の線量当量率分布(配置(ii))/側部方向

別紙 3-9

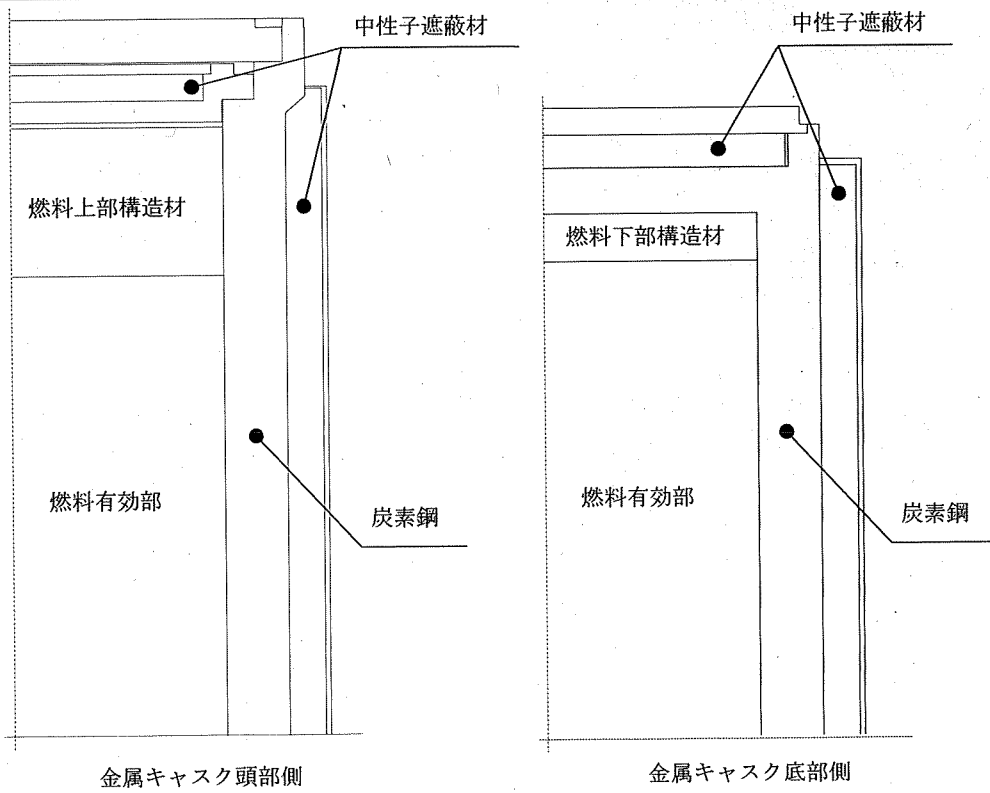
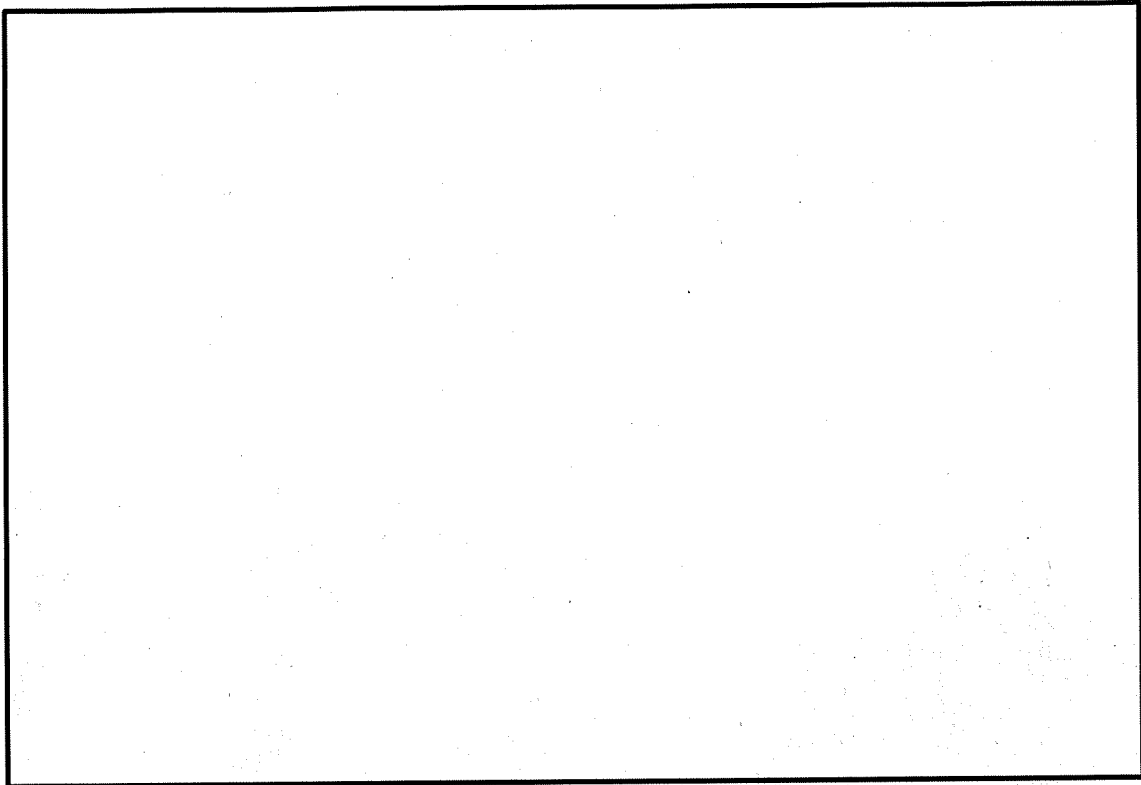
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-3 図 表面の線量当量率分布(配置(ii)/トランニオン部近傍)

別紙 3-10

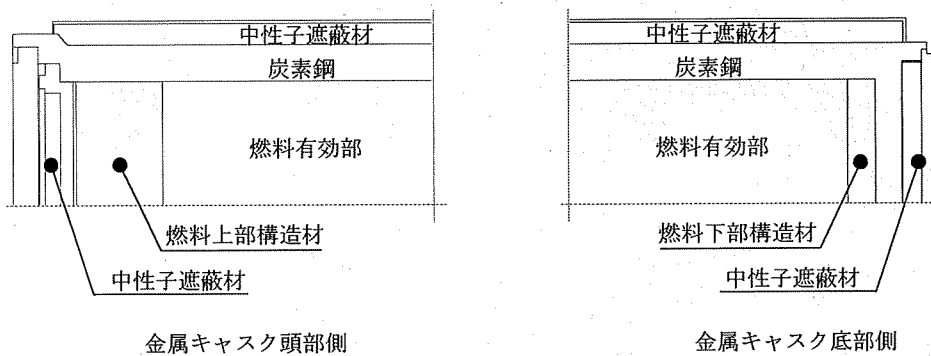
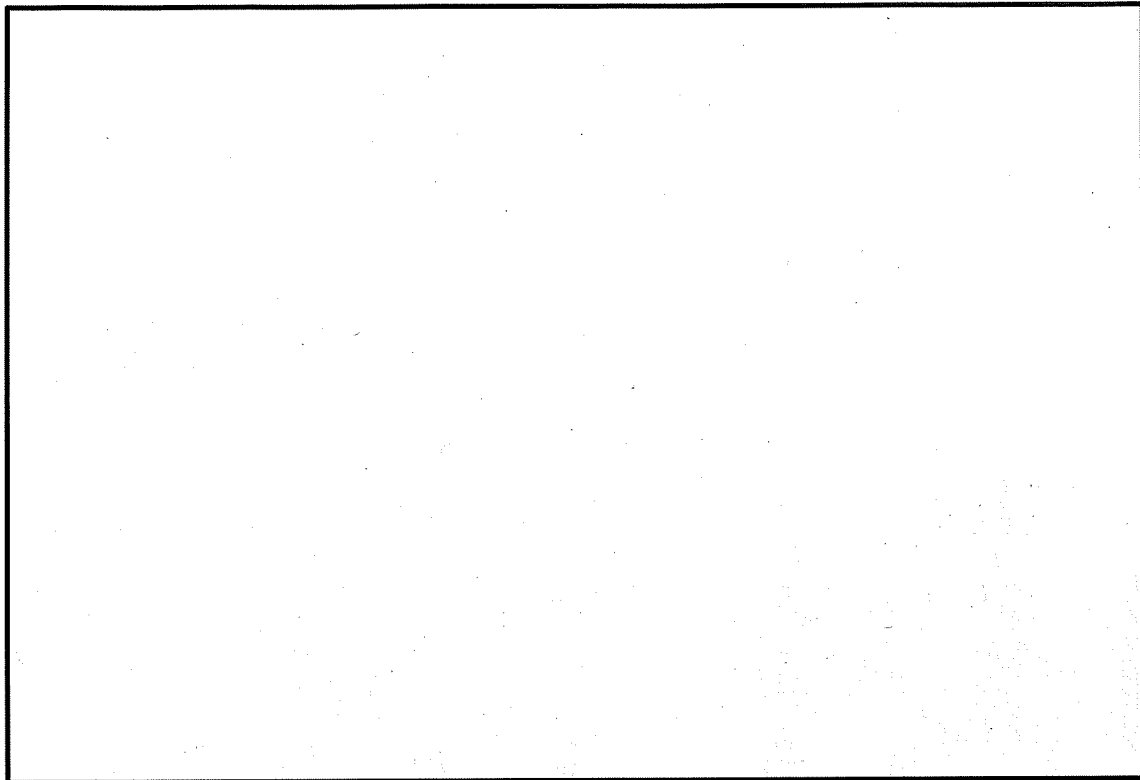
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-4 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布 (配置 (ii)) / 頭部・底部軸方向)

別紙 3-11

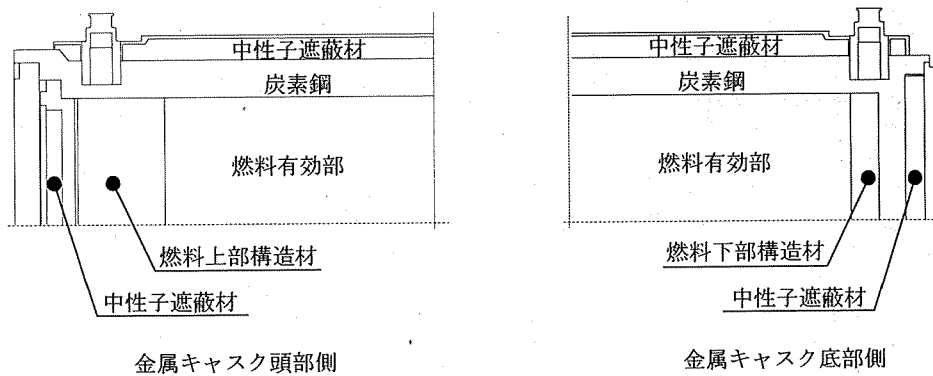
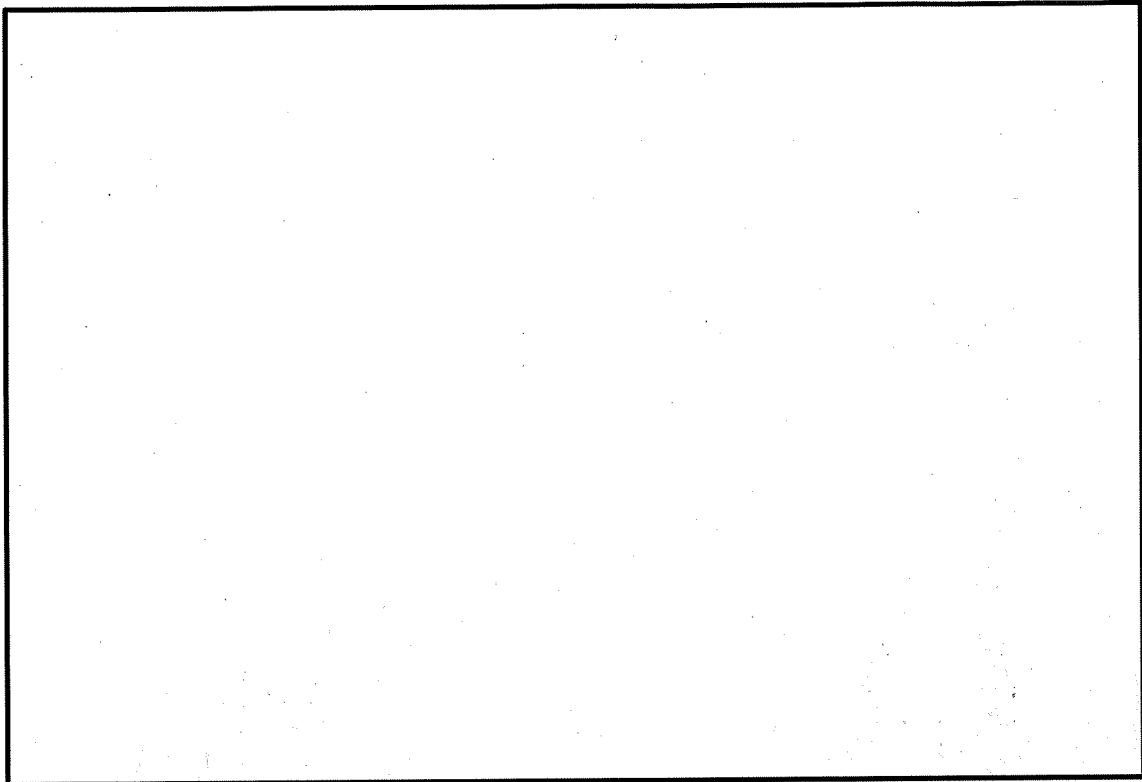
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-5 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布(配置(ii)/側部方向)

別紙 3-12

内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 3-2-6 図 表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布(配置(ii)/トラニオン部近傍)

別紙 3-13

内は商業機密のため、非公開とします。

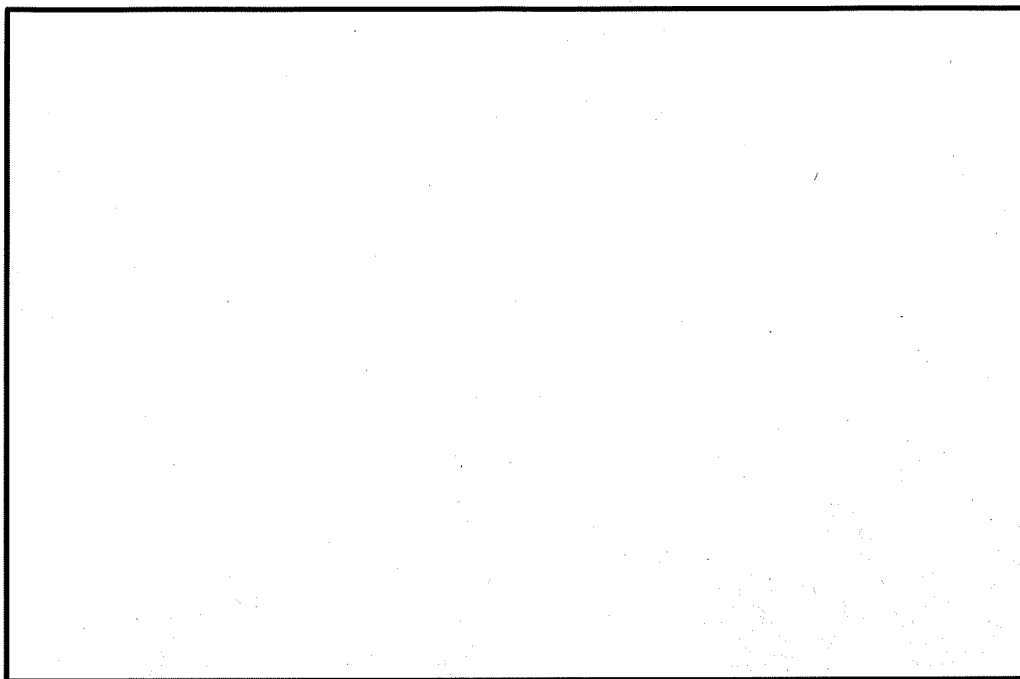
中性子遮蔽体領域のモデル化について

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。

この手法の保守性を確認するため、HDP-69B(B)型の燃料有効部中心高さでの輪切り断面を対象に、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルと、実形状にモデル化した計算を実施し、線量当量率を比較した。計算には二次元輸送計算コードDOT3.5のR- θ 体系を使用した。レジンと伝熱フィンを実形状としたモデルを別紙4-1図に示す。

配置(i)を対象としたときのレジンと伝熱フィンを実形状とした計算結果を別紙4-1表に示す。

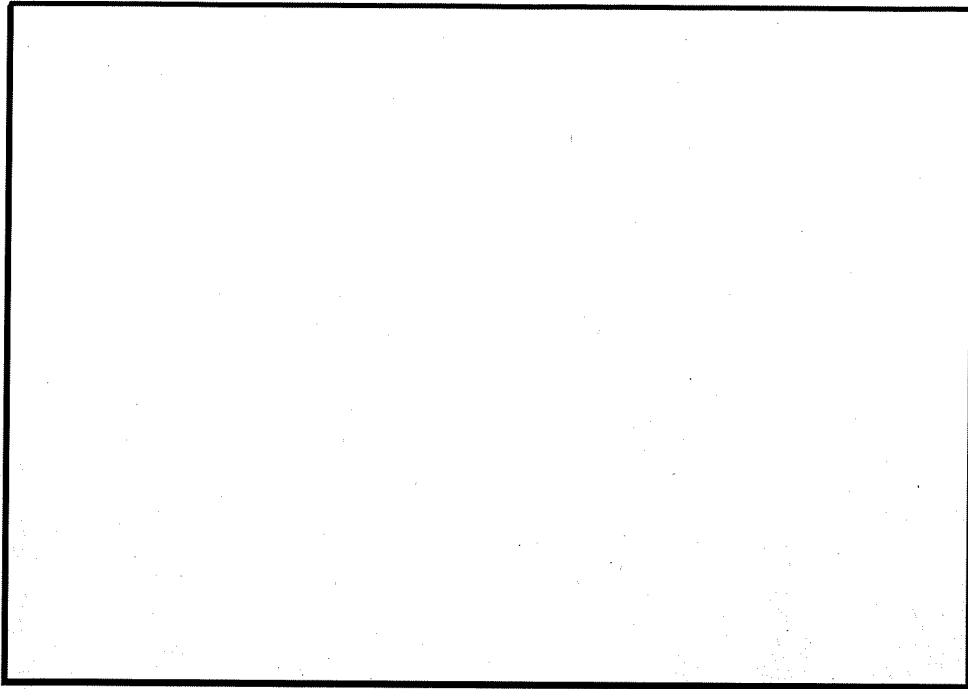
伝熱フィンをモデル化した場合、中性子とガンマ線の合計線量当量率は、ガンマ線の寄与が大きいため、伝熱フィン部よりもレジン部で大きくなっており、中性子の線量当量率は、伝熱フィン部で最大となっているが、レジンと伝熱フィンを均質化した本手法の線量当量率より小さく、本手法が過小評価としないことを確認している（別紙4-2図及び別紙4-3図参照）。



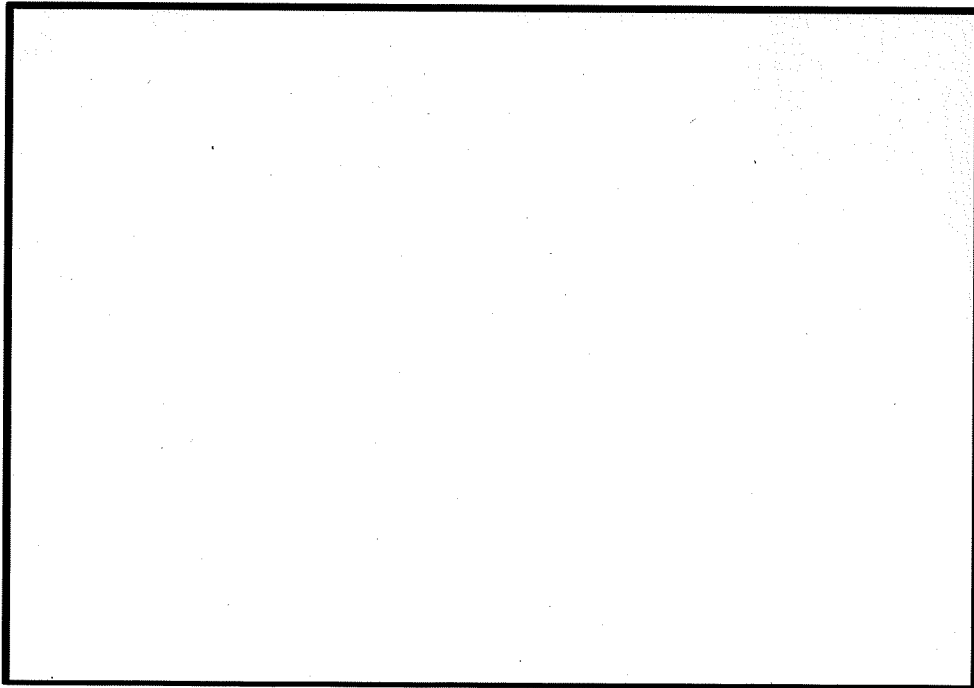
別紙 4-1 図 伝熱フィンモデル化した二次元モデル(R- θ)

別紙 4-2

内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 4-2 図 二次元モデル(R- θ)による伝熱フィン部の中性子線量当量率分布



別紙 4-3 図 二次元モデル(R- θ)による伝熱フィン部の燃料有効部ガンマ線源のガンマ線線量当量率分布

別紙 4-3

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 4-1 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
(配置(i)を対象とした結果)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

			本手法 (レジンと伝熱フィン を均質化)	伝熱フィンをモデル化した場合*1	
			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		
1 m の位置 表面から	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		

注記*1: 詳細モデル(二次元(R- θ)体系)では、軸方向に無限長になるため、軸方向からの寄与が増大し、計算値が過大に評価される。そのため、二次元(R- θ)体系でも燃料領域と側部中性子遮蔽材領域を均質化した計算を行い、以下の方法で詳細モデルの計算値を補正した。

$$\text{補正した計算値} = R\theta_{\text{詳細}} \times (RZ_{\text{均質}} \div R\theta_{\text{均質}})$$

ここで、

$R\theta_{\text{詳細}}$: 二次元(R- θ)体系の詳細モデルの計算値

$RZ_{\text{均質}}$: 二次元(R-Z)体系の均質化モデルの計算値

$R\theta_{\text{均質}}$: 二次元(R- θ)体系の均質化モデルの計算値

別紙 4-4

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

トランニオン部のモデル化について

1. トランニオン部の評価方法

金属キャスク本体の計算は二次元計算コードの制約から円筒モデルを使用しておりトランニオンが模擬できない。このため、トランニオン部を対象にモデル化した別計算で、本体モデルに対するトランニオン有無の影響を評価し、本体モデルの結果を補正することでトランニオン部の線量当量率を評価している。

(1) モデル化方法

トランニオン部については、実形状を模擬して別途モデル化し、DOT3.5 を用いて評価している。別紙 5-1 図に示すとおり、トランニオンを無視した本体モデルにて得られたトランニオン付近の線束を、別途モデル化したトランニオン R-Z 軸対称モデル(トランニオン有モデル/無モデル)に引継いでいる。トランニオン部は、トランニオン中心を通る断面でトランニオン底面及び金属キャスク本体の一部を含めモデル化している。

(2) 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ンニオンモデルの線束引継ぎを行った。

本体モデル、トランニオン有モデルとトランニオン無モデルの底部側の線量当量率等高線分布((配置(i)の中性子))とトランニオンモデル線束引継ぎ面を別紙 5-2 図に示す。

(3) 角度束の扱い

引継ぐ線束は、本体モデルの燃料有効部側(金属キャスク側)の Z 方向と R 方向の角度束をトラン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、トラン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側の値になっており、トランニオン部の中心軸に対して軸対称に高い線束で評価している(別紙 5-1 図参照)。

(4) トラニオン部の線量当量率評価結果の補正

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している。具体的には下式のようなになる。

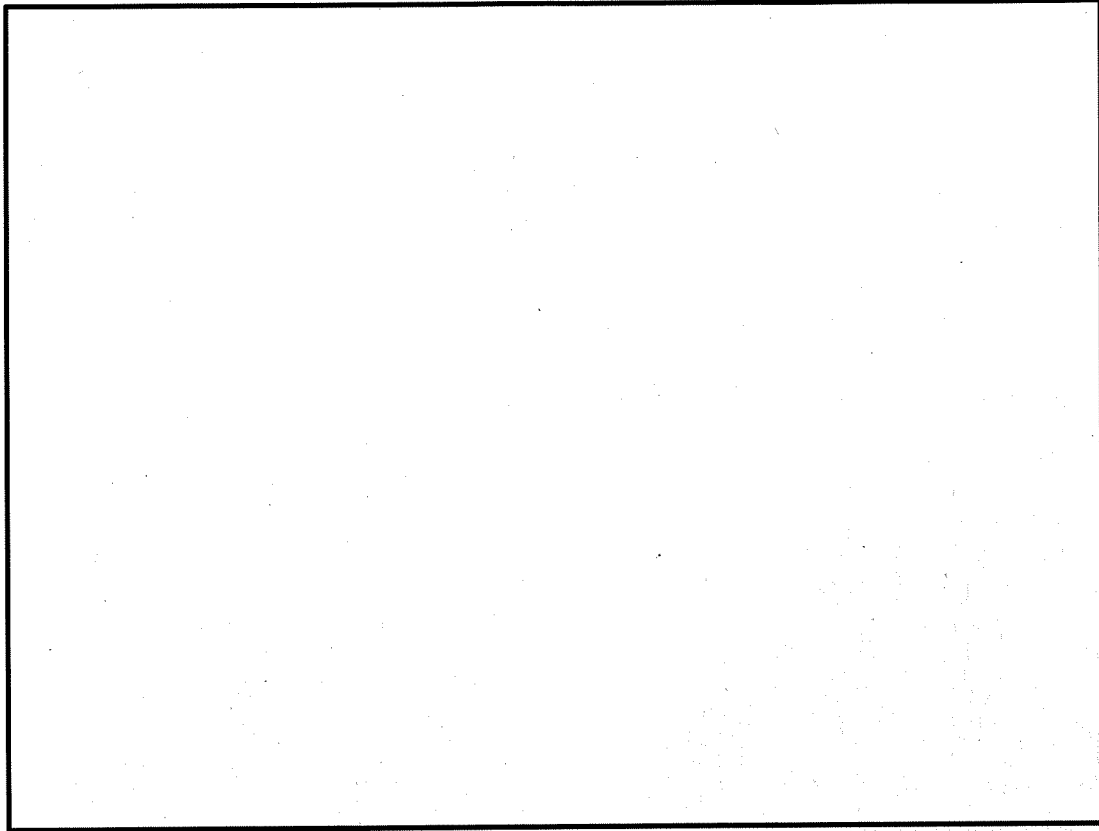
$$\text{トラニオン部の線種ごとの線量当量率} = \text{本体モデル} + ((\text{トラニオン有モデル}) - (\text{トラニオン無モデル}))$$

ただし、(トラニオン有モデル) < (トラニオン無モデル) の場合は、保守的に(本体モデル)の結果をそのまま採用している。

2. トラニオン部の評価方法の妥当性確認

表面の線量当量率が最も高くなる配置(i)の底部トラニオン表面を、別紙5-3図に示す三次元計算モデルを用いて、三次元計算コードMCNP5で計算した。計算条件を別紙5-1表、分散低減手法の妥当性確認内容を別紙5-2表に示す。また、計算結果を別紙5-3表、線量当量率分布を別紙5-4図に示す。二次元円筒モデルの線束引継ぎにより二次元輸送計算コードDOT3.5で計算した結果は、三次元計算結果より保守的な値となっており、二次元円筒モデルの線束引継ぎによる評価結果は妥当である。

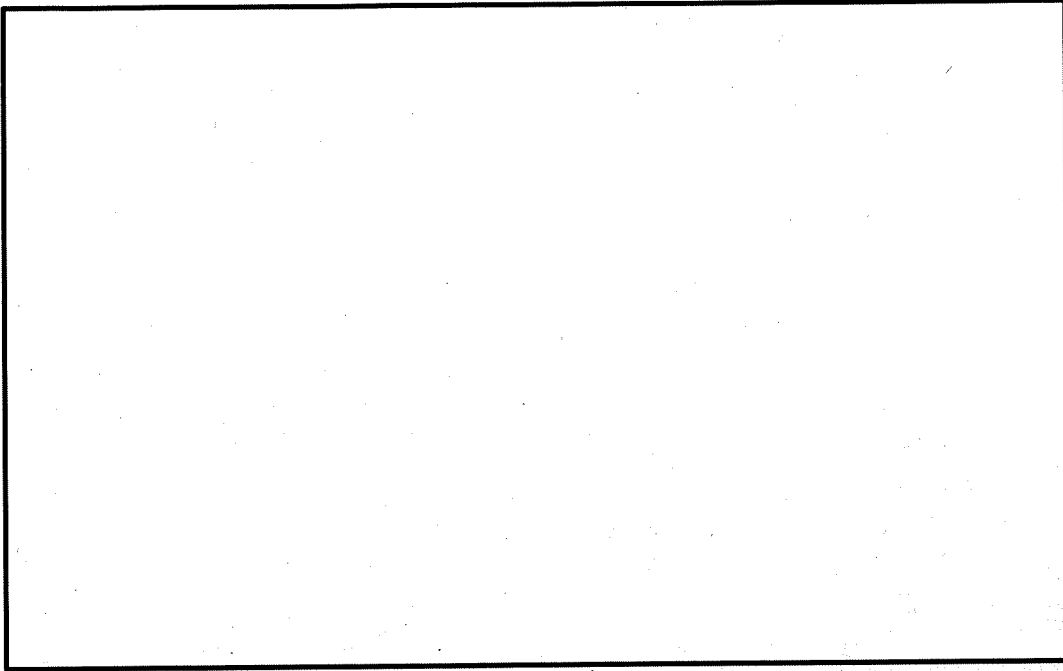
なお、二次元計算では、トラニオンモデルに線束を引継ぐ際、保守的となるように本体モデルの燃料有効部側(金属キャスク中心側)の角度束を用いて評価している。このため、トラニオン部の評価では保守的な線束が全周から入射する条件となり、実際の入射線束よりも高い線束で評価していることから、三次元計算コードでの評価結果に比べ高くなっている。



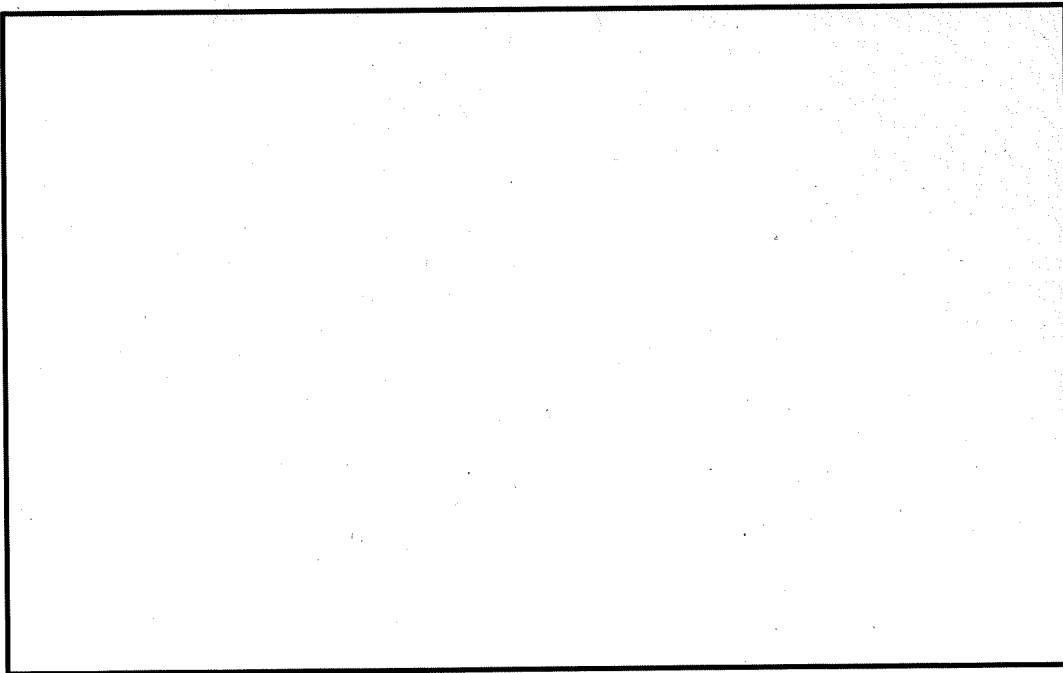
別紙 5-1 図 トラニオン部の解析モデル

別紙 5-3

内は商業機密のため、非公開とします。



a) 本体モデル



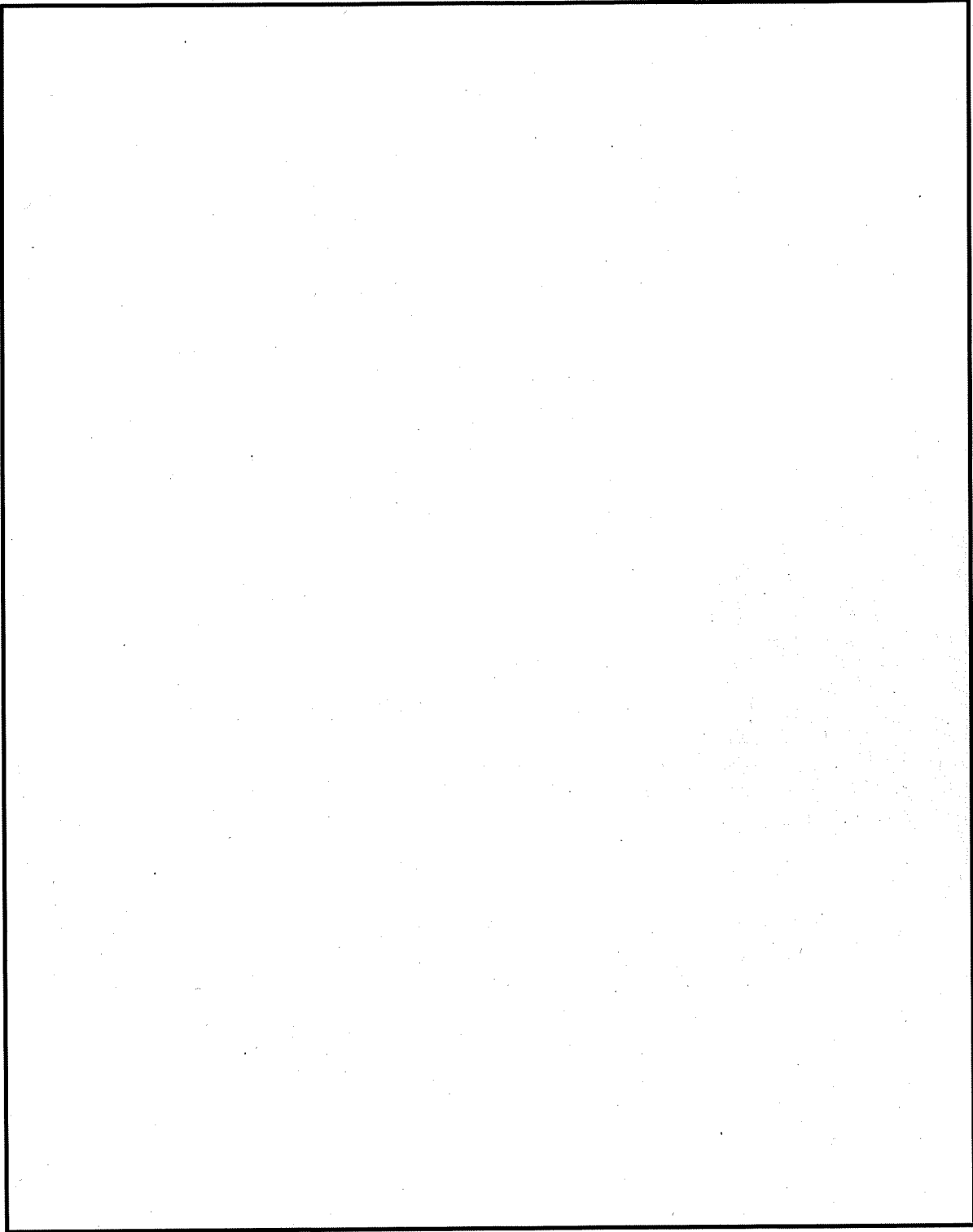
b) トラニオン有モデル

c) トラニオン無モデル

別紙 5-2 図 線量当量率等高線分布
(配置(i)の中性子)

別紙 5-4

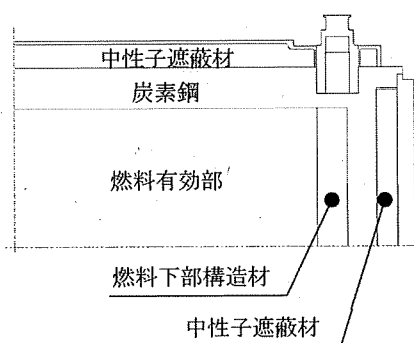
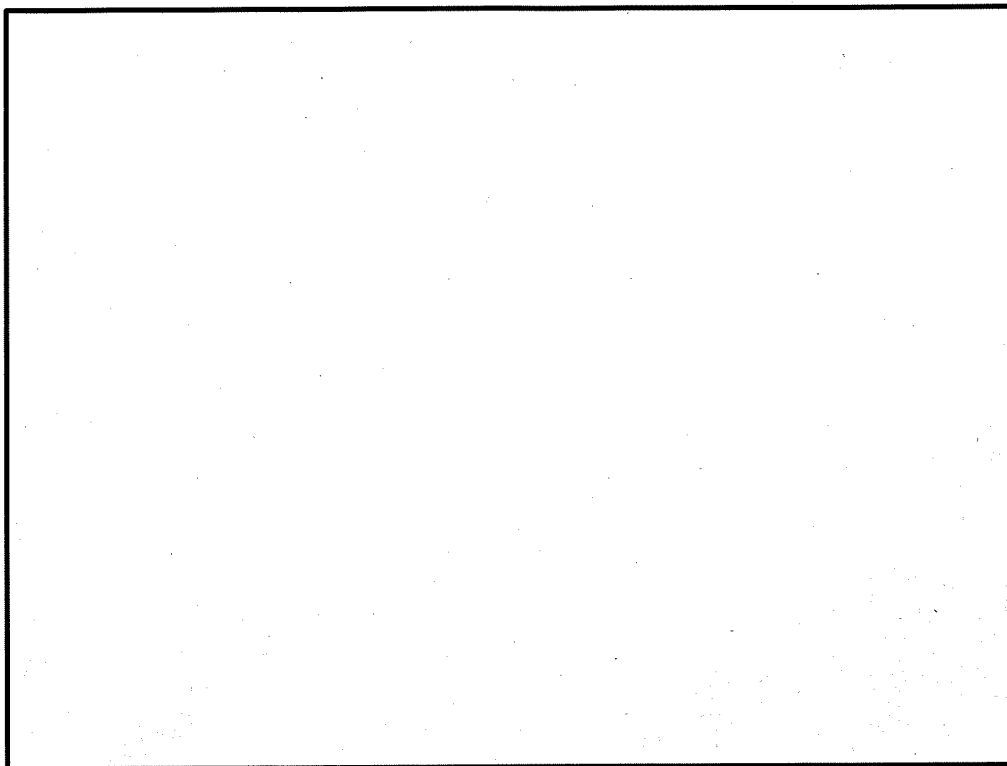
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 5-3 図 底部トラニオン三次元計算モデル
(配置(i))

別紙 5-5

内は商業機密のため、非公開とします。



金属キャスク底部側

別紙 5-4 図 表面の線量当量率分布 (底部トランニオン部近傍)
(配置 (i))

別紙 5-6

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 5-1 表 計算条件

項目		条件	
計算方法		二次元計算	三次元計算
解析コード		DOT3.5	MCNP5
解析手法		Sn 法	モンテカルロ法
断面積ライブラリ		DLC23/CASK (中性子 22 群, ガンマ線 18 群)	FSXLIB-J33(中性子) MCPLIB02(ガンマ線) (連続エネルギー)
線源 スペクトル	燃料有効部 ガンマ線	ORIGEN2 の 18 群構造の評価 値を DLC23/CASK の 18 群構 造にエネルギー保存で変換 して指定	ORIGEN2 の 18 群構造の評 価値をそのまま指定
	構造材放射化 ガンマ線	1.17 MeV と 1.33 MeV の該当 するエネルギー群に指定	1.17 MeV と 1.33 MeV を 1:1
	中性子	Pu-239 核分裂スペクトル (22 群データ)	Pu-239 核分裂スペクトル (連続エネルギー Watt 型)
評価方法		金属キャスク表面外側の 1 cm 厚さの空気メッシュの値	点検出器タリー *1 (トランシオン表面から 5 mm 位置)
分散低減法		—	ウェイト・ウィンドウ *1

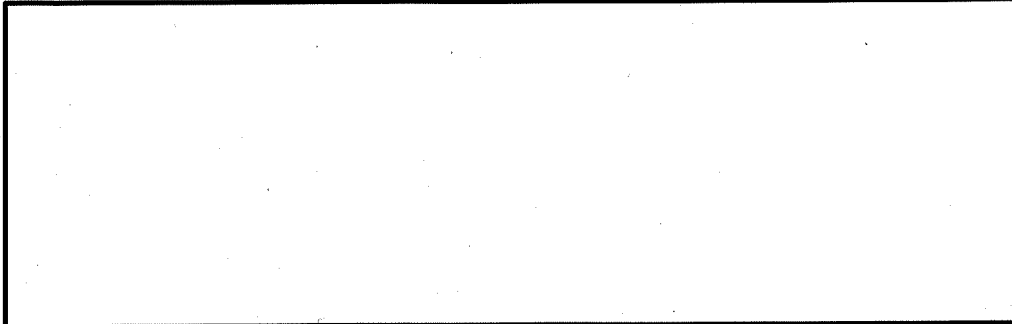
注記*1: セル分割をしてセルごとに設定したウェイト・ウィンドウを使った点検出器タリーの妥当性の確認内容を別紙 5-2 表に示す。

別紙 5-2 表 分散低減手法を使った点検出器タリーの妥当性確認内容

項目	内容
セルの大きさ	セルごとのウェイト・ウィンドウを設定するため、大きな領域に対してはセルを分割している。隣接セルの設定値の差が大きくなり過ぎないように設定する観点で、透過方向にセルを分割しており、その厚さは二次元計算結果を基に、隣接するセル間の減衰率が 1/4 以内を目安に設定している（マニュアルに記載されている隣接セル間のウェイト・ウィンドウ設定値の考え方を考慮）。なお、透過方向以外は減衰が小さいため、構造物や線源が変化する位置に合わせて分割している。
評価点に寄与した粒子の位置	点検出器は衝突後の粒子を延長して評価するため、粒子が評価点に実際に到達しなくても数値が得られることもあることから、粒子が評価点近傍に届いていることを確認するため、評価点に寄与した粒子の存在するセルを確認している。評価点近傍のセルが最も多く評価点に寄与しており、評価点から離れるほど寄与が小さくなる傾向であるため計算値は妥当と判断している。
線量分布	点検出器タリーと併せて、粒子が実際に到達しなければ評価できないトラックレングス・エスティメータであるメッシュタリーを使って周辺の分布を評価している。両タリーとも同等の結果が得られており、点検出器の分散低減手法を妥当と判断している。 また、不連続となるような不自然な分布がないことを確認している。
相対標準偏差	相対標準偏差はマニュアル判断基準の 5 % 以下を満足している。

別紙 5-3 表 金属キャスクの底部トランニオン表面における線量当量率
(配置(i))

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)



注記*1: 三次元計算の計算条件を以下に示す。

- ・計算コードは MCNP5, ライブラリは FSXLIB-J33 及び MCPLIB02 を使用
- ・モデルは別紙 5-3 図参照

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

HDP-69B(B)型の線量当量率評価は、最も実績のある手法である二次元輸送計算コード DOT3.5 と断面積ライブラリ DLC-23/CASK の組合せを採用している。しかし、このライブラリは鉄等の共鳴領域の反応を補正する自己遮蔽因子を考慮していないことから、鉄透過の際に中性子線量率を過小評価することが知られている。このため、共鳴領域の自己遮蔽因子を考慮できる新しいライブラリ MATXSLIB-J33 を用いた評価も実施した。

1. 遮蔽解析条件

ライブラリ以外の計算条件は DLC-23/CASK を使った計算と同一とした。

炭素鋼の組成については DLC-23/CASK を使った計算と同様に微量元素を無視したが、DLC-23/CASK ではデータがなかったため無視していたほう素の同位体(B-11)については、MATXSLIB-J33 ではデータが存在するため考慮した。

2. 遮蔽解析結果

新しいライブラリ MATXSLIB-J33 を用いた場合と、DLC-23/CASK を用いた場合の線量当量率評価結果を別紙 6-1 表及び別紙 6-2 表に示す。別紙 6-1 表、別紙 6-2 表は、それぞれ配置 (i)、配置 (ii) の評価結果である。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を別紙 6-1 図に示す。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置は、配置 (i)、(ii) ともに同じ位置である。

以上より、MATXSLIB-J33 を使用した場合でも表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率が、それぞれ 2mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認した。

別紙 6-1 表 線量当量率評価結果の比較(配置(i))

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部				側中央		底部					
	軸方向		径方向 (トラネオン部)		A	B	径方向		径方向 (トラネオン部)		軸方向	
	①	③a	③b	⑤			⑦a	⑦b	⑨			
ライブラリ*	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	0.1	0.1	0.5	0.3	0.5	0.3	95.8	70.6	1.3	0.9	24.2	17.5
	4.9	3.9	132.5	169.7	110.4	118.2	< 0.1 [†]	< 0.1 [†]	12.8	9.8	63.2	47.6
	0.7	0.6	2.0	2.6	2.1	2.7	26.9	36.9	4.6	7.8	7.8	10.8
	188.2	296.3	253.9	347.2	505.2	770.1	72.7	87.8	706.9	1445.7	1012.5	1735.1
合計	193.9	300.9	388.9	519.8	618.2	891.3	195.4	195.4	725.6	1464.2	1107.7 ^{**}	1811.0 ^{**}
評価点	②		④a		④b		⑥		⑧a		⑧b	
ライブラリ*	A	B	A	B ^{††}	A	B ^{††}	A	B	A	B ^{††}	A	B
	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
	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
	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
	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
合計	75.0	98.6 ^{**}	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

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, MATXS LIB-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。

別紙 6-2 表 線量当量率評価結果の比較(配置(ii))

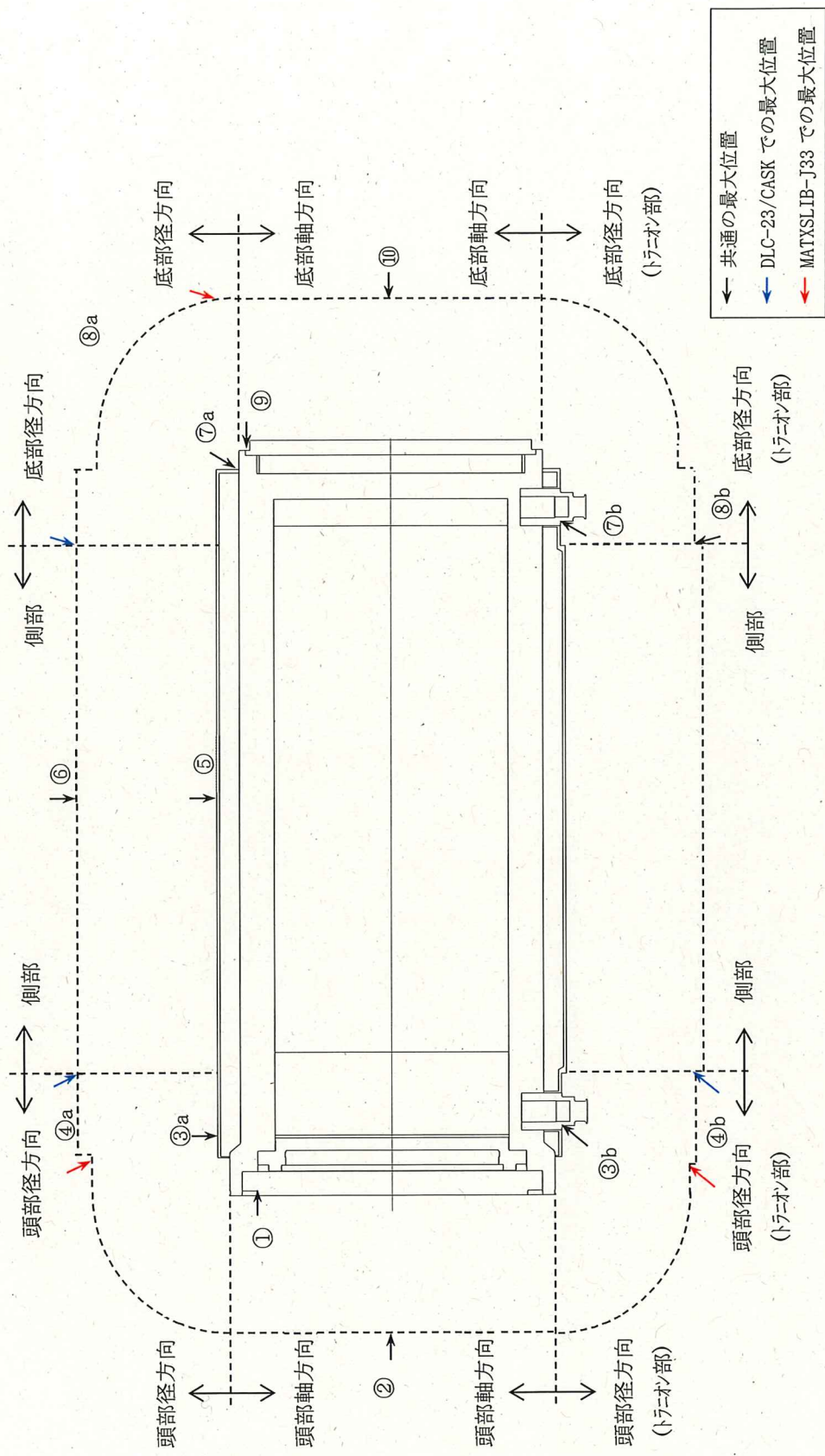
(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部				側中央		底部									
	軸方向		径方向 (トラニオン部)		A	B	径方向		径方向 (トラニオン部)		軸方向					
	A	B	A	B			A	B	A	B						
表面から1m	①		③a		③b		⑤		⑦a		⑦b		⑨			
	A		B		A		B		A		B		A		B	
	0.1	< 0.1*	0.4	0.2	0.4	0.2	80.9	59.1	0.7	0.5	14.4	10.1	1.7	1.1		
	3.7	2.3	100.1	73.8	83.5	62.5	< 0.1*	< 0.1*	8.7	6.6	43.4	32.6	13.0	9.1		
	0.8	0.8	2.5	3.1	2.6	3.4	29.4	39.8	3.9	6.6	6.7	9.4	1.9	2.7		
中性子		230.2	362.6	313.2	430.1	626.2	954.1	81.7	98.8	587.3	1189.5	859.4	1469.0	221.0	491.9	
合計		234.8	365.8	416.2	507.2	712.7	1020.2	192.1	197.8	600.6	1203.2	923.9	1521.1	237.6	504.8	
評価点		②		④a		④b		⑥		⑧a		⑧b		⑩		
A		B		A		B		A		B		A		B		
0.3		0.2		11.4		8.1 (2.3)		33.1		24.0		16.5		11.8 (0.4)		
38.4		28.4		18.5		13.4 (15.4)		1.5		1.1		5.6		4.3 (6.6)		
0.2		0.2		3.9		5.3 (2.5)		10.9		14.7		5.1		6.9 (0.5)		
34.6		63.7		21.2		28.4 (47.0)		28.7		35.1		12.5		15.6 (44.2)		
73.5		92.5		55.0		55.2 (67.2)		74.2		74.9		39.7		38.6 (51.7)		

注記*1: “<0.1”の値は、“0.1”として合計値に合算した。

*2: DLC-23/CASK を用いた評価をA, MATSLIB-J93 を用いた評価をBとする。

*3: 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。



注記*1：①～⑩は評価方向ごとの最大線量当量率評価位置を示しており，評価結果を別紙6-1表に示す。

別紙6-1図 線量当量率評価位置の比較(配置(i)，(ii))

添付書類 4

使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書

目 次

1. 設計方針	1
2. HDP-69B(B)型の閉じ込め設計	2
2.1 閉じ込め機能に関する構造	2
2.2 閉じ込め評価	2
2.3 閉じ込め評価結果	3
3. 参考文献	5

別紙1 基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び評価結果

別紙2 (一財) 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性

図表目次

図 2-1	HDP-69B(B)型の閉じ込め構造	6
図 2-2	HDP-69B(B)型のシール部詳細	7
図 2-3	金属ガスケット構造 (ばね入りメタルCリング, 眼鏡型)	8
図 2-4	金属キャスクの閉じ込め評価フロー	9
図 2-5	LMP の定数 $C=20$ における漏えい率と LMP	10
図 2-6	LMP の定数 $C=14$ における漏えい率と LMP	11
図 2-7	金属ガスケット (二次蓋) の長期密封性能試験結果 (眼鏡型)	12

1. 設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲である金属キャスクの設計貯蔵期間 60 年を評価条件として、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。HDP-69B(B)型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋、二次蓋及び一次蓋貫通孔シール部には、使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有する金属ガスケットを用いる。なお、一次蓋と二次蓋の間(以下「蓋間」という。)を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間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。

また、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲から、以下の項目を、HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の条件とする。

- ・金属キャスクの設計貯蔵期間：60 年以下

2. HDP-69B(B)型の閉じ込め設計

2.1 閉じ込め機能に関する構造

HDP-69B(B)型の閉じ込め構造を図 2-1 に、シール部詳細を図 2-2 に、金属ガスケット構造（ばね入りメタルCリング、眼鏡型）を図 2-3 に示す。

HDP-69B(B)型は、使用済燃料等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. HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体及び蓋部により使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。
- b. HDP-69B(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、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、使用済燃料を収納する空間に通じる貫通孔（ベント及びドレン用）のシール部を一次蓋に設ける。
- 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。なお、設計貯蔵期間を通じて金属ガスケットが使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有していることを確認できるよう、蓋及び蓋貫通孔のシール部にリークチェック孔を設ける。金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、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を収納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、使用済燃料を収納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。さらに、その蓋間の圧力を測定するための圧力センサを取り付けることができる貫通孔を二次蓋に設けることにより閉じ込め機能を監視する。
- d. 一次蓋と二次蓋から成る閉じ込め機能が喪失した場合であっても、三次蓋を取り付けて輸送できる設計とする。

2.2 閉じ込め評価

金属キャスクの閉じ込め評価フローを図 2-4 に示す。HDP-69B(B)型の閉じ込め評価においては、以下の考え方にに基づき評価する。

- a. 閉じ込め評価では、設計貯蔵期間（60年）にわたって金属キャスク本体内部圧力が負圧を維持できる漏えい率（以下「基準漏えい率 Q_s 」という。）を求める。具体的な評価方法を別紙 1 に示す。
- b. 基準漏えい率 Q_s を求めるに当たっては、蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは金属キャスク本体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。大気圧は、気象変化による圧力変動を考慮した値⁽¹⁾として 9.7×10^4 Pa とする。また、収納された使用済燃料の破損により発生したガスによる圧力上昇を考慮する。なお、使用済燃料の破損率は、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 %）

- (1) (2), 及び日本の軽水炉における運転中の漏えい燃料発生率 (約 0.01 %以下) (1) を考慮し, 保守的な値として 0.1 %とする。
- c. 設計貯蔵期間後の金属キャスク本体内部の圧力は, 蓋間圧力と金属キャスク本体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本体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。ここで, 漏えい率は, シールされる流体, シール部及び金属キャスク本体内部の温度, シール部の上流側と下流側の圧力等に依存する。
- d. 使用する金属ガスケットが設計貯蔵期間を通じて確保可能な漏えい率 (以下「金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n 」という。) は HDP-69B(B) 型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率 Q_s を満足できるものでなければならない。
- e. なお, 貯蔵開始前の気密漏えい検査で確認される漏えい率の判定基準 (以下「リークテスト判定基準 Q_t 」という。) は, 基準漏えい率 Q_s を下回るように設定する。

2.3 閉じ込め評価結果

使用環境を考慮して評価した結果, HDP-69B(B) 型の基準漏えい率 Q_s は 2.4×10^{-6} Pa·m³/s となる。評価の詳細を別紙 1 に示す。

次に, 金属ガスケットの性能は, 金属キャスクのシール部が比較的高温下にあるため, 長期貯蔵中のクリープによる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への影響については, ラーソン・ミラー・パラメータ (以下「LMP」という。) の考え方をを用いて評価する。ここで, (一財) 電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果においては LMP の定数 C を 20⁽³⁾ 又は 16⁽⁴⁾ とした場合が報告されている。一方, 原子力安全基盤機構における金属ガスケットの密封性能試験等では LMP の定数 C を 14⁽⁵⁾ とした場合が報告されている。LMP と漏えい率の関係は定数 C が 20 の場合は図 2-5⁽³⁾ に, 14 の場合は図 2-6⁽⁶⁾ に示すとおり整理されている。ここで LMP の定数 C を 20 及び 14 とした場合に対し, それぞれの金属ガスケットの LMP が約 11×10^3 及び 8.0×10^3 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され, 設計貯蔵期間を通じて 10^{-10} Pa·m³/s 以下を確保できることが示されている。

HDP-69B(B) 型の除熱評価の結果から, 金属ガスケット部の温度は 100 °C 以下である。この温度から設計貯蔵期間 (60 年間) に相当する LMP を算出すると LMP の定数 $C=20$ の場合は約 9.6×10^3 , $C=14$ の場合は約 7.4×10^3 となり, 設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判断される。また, 図 2-5 及び図 2-6 の LMP 計算式に示すとおり LMP の算出において定数 C に関しては単調増加し, $C=16$ の場合は $C=14$ と $C=20$ に包絡される。

また, 図 2-7 に示す (一財) 電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスクの蓋部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 19 年以上 (平成 2 年 10 月から平成 22 年 1 月) が経過した二次蓋閉じ込め部の漏えい率に変化はなく, 金属ガ

ケットは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⁽⁷⁾。なお、(一財)電力中央研究所の長期密封性能試験結果を適用することの妥当性は別紙2に示すとおりである。

さらに、日本原子力発電株式会社東海第二発電所で行われた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シール部の漏えい率は、貯蔵初期と同程度(約 10^{-10} Pa \cdot m³/s)に維持されているとの知見が得られている⁽⁸⁾。

以上より、HDP-69B(B)型で使用する金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n は、使用環境を考慮しても基準漏えい率 Q_s (2.4×10^{-6} Pa \cdot m³/s)を満足する。

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)」(2010年7月)
- (2) M. A. McKinnon, A. L. Doherty, “Spent Nuclear Fuel Integrity During Dry Storage - Performance Tests and Demonstrations”, PNNL-11576 (1997)
- (3) 加藤治, 伊藤千浩,「電力中央研究所報告 使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (一財)電力中央研究所, U92009 (平成4年7月)
- (4) (一財)電力中央研究所,「平成23年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(中間貯蔵設備長期健全性等試験)報告書」(平成24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」(平成16年6月)
- (6) (一財)電力中央研究所,「使用済核燃料貯蔵の基礎」, 株式会社 ERC 出版(2014年4月20日)
- (7) (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(中間貯蔵設備等長期健全性等試験)報告書」(2010年3月)
- (8) 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)

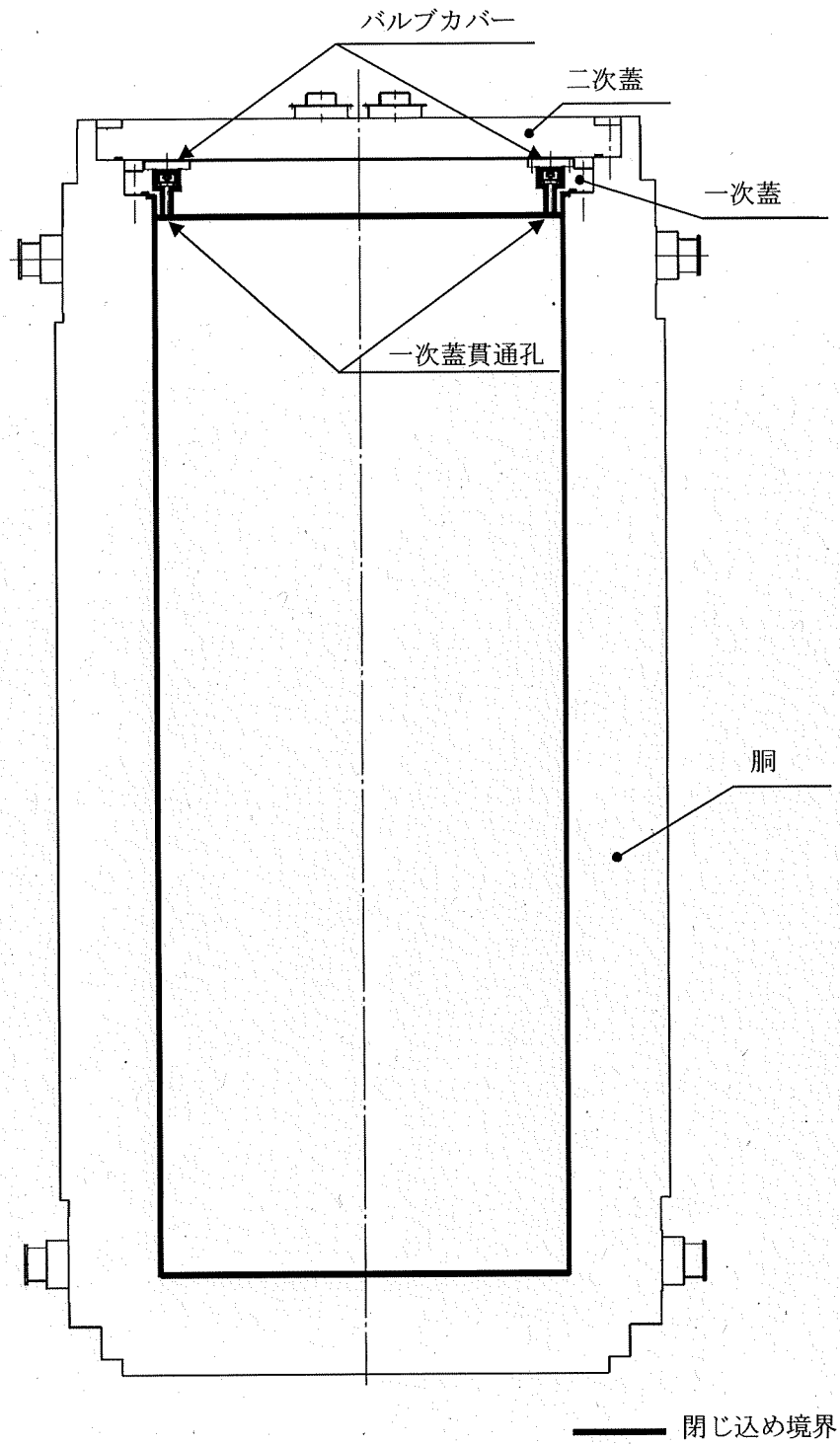


図 2-1 HDP-69B(B)型の閉じ込め構造

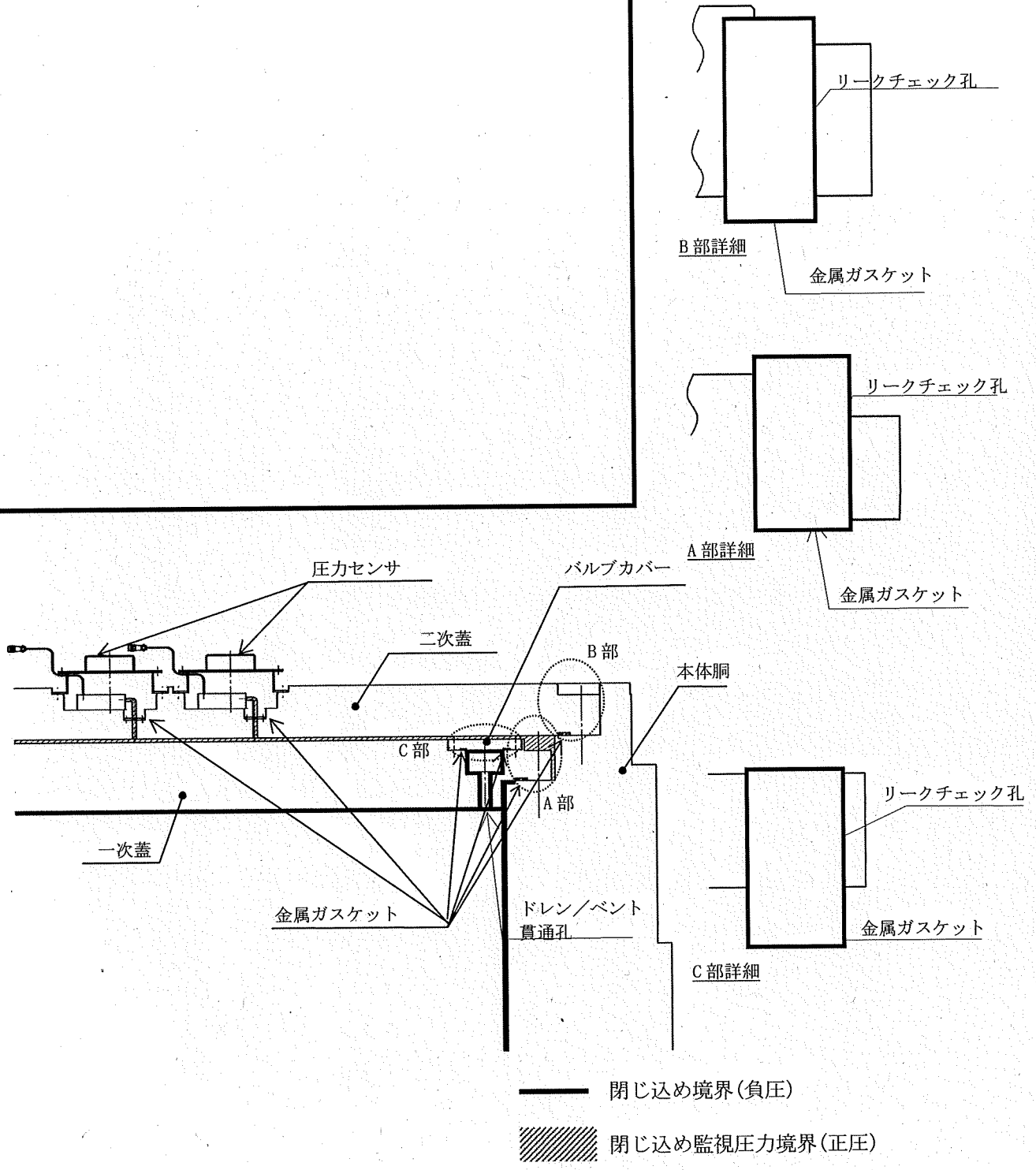
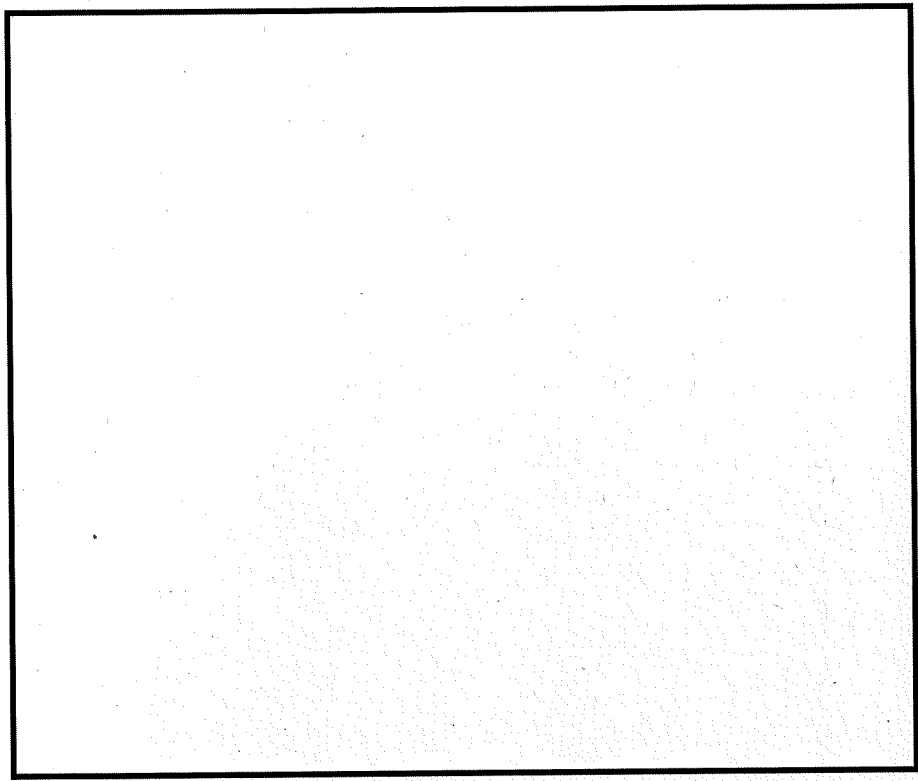
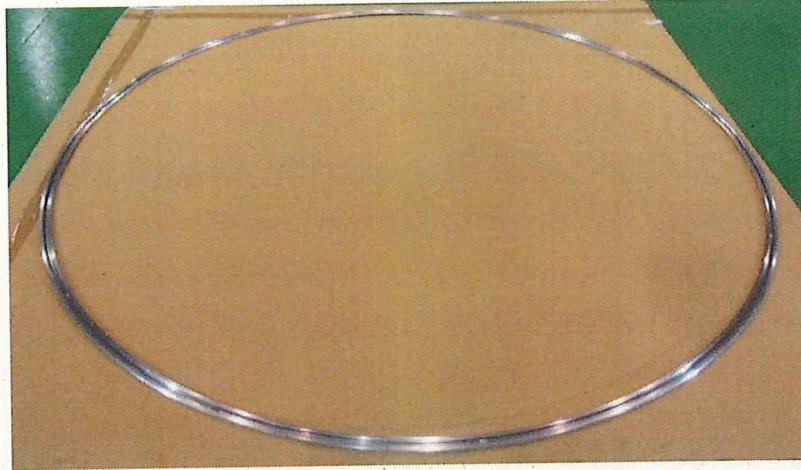


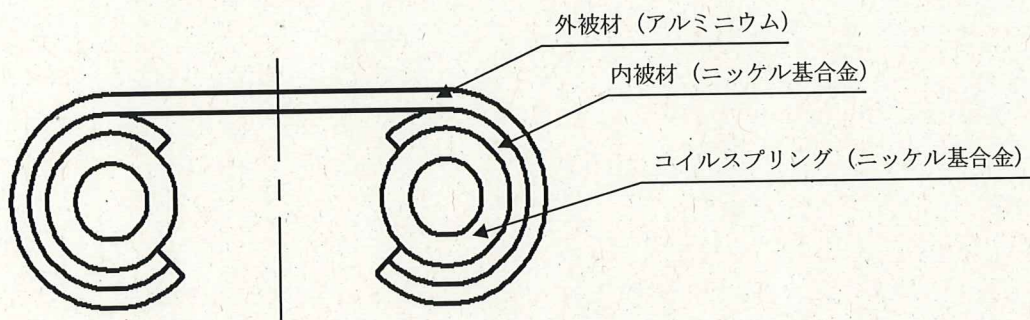
図 2-2 HDP-69B(B)型のシール部詳細

7

内は商業機密のため、非公開とします。



(a) 外観



(b) 内部構造図

図 2-3 金属ガスケット構造 (ばね入りメタルCリング, 眼鏡型)

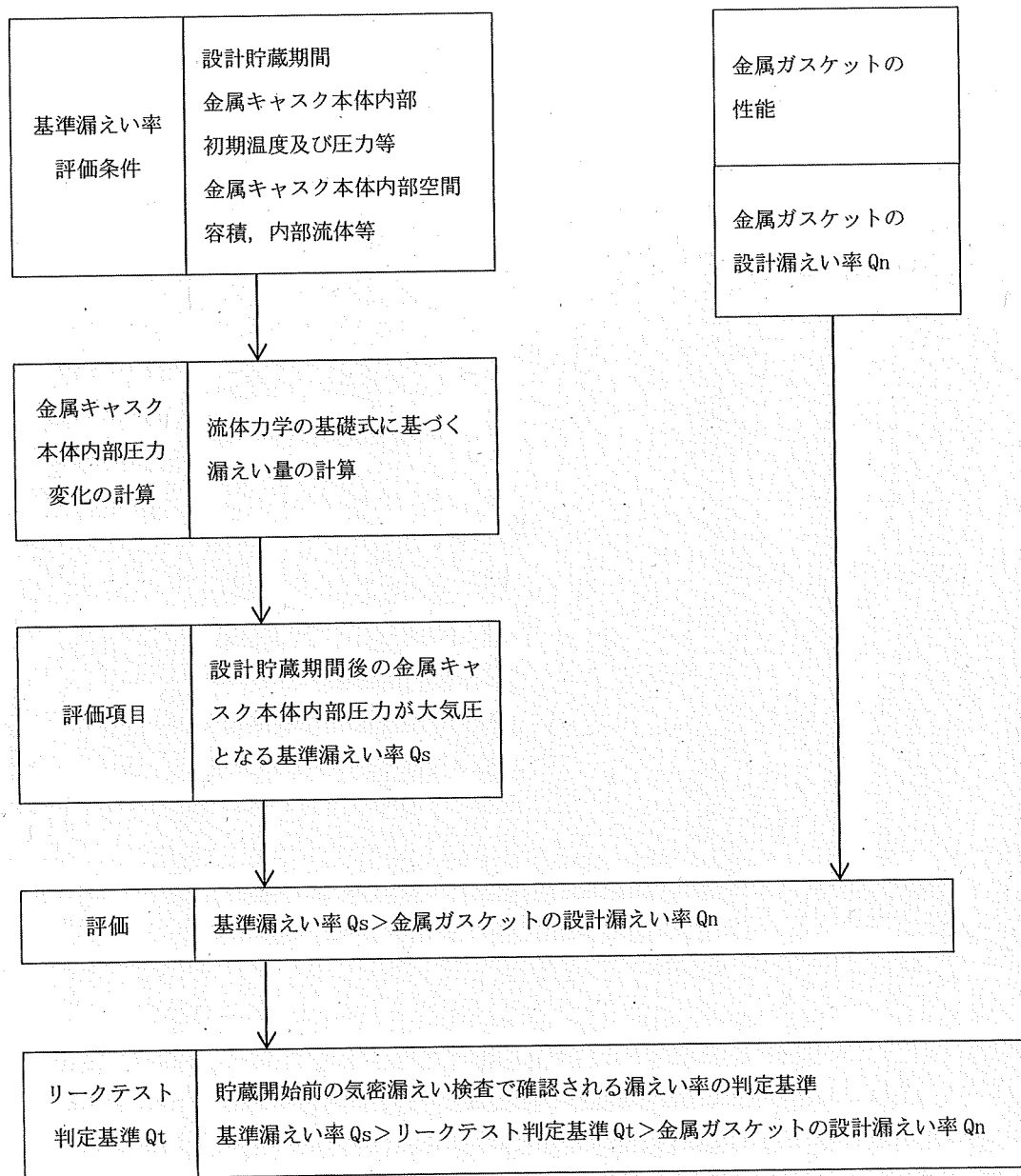
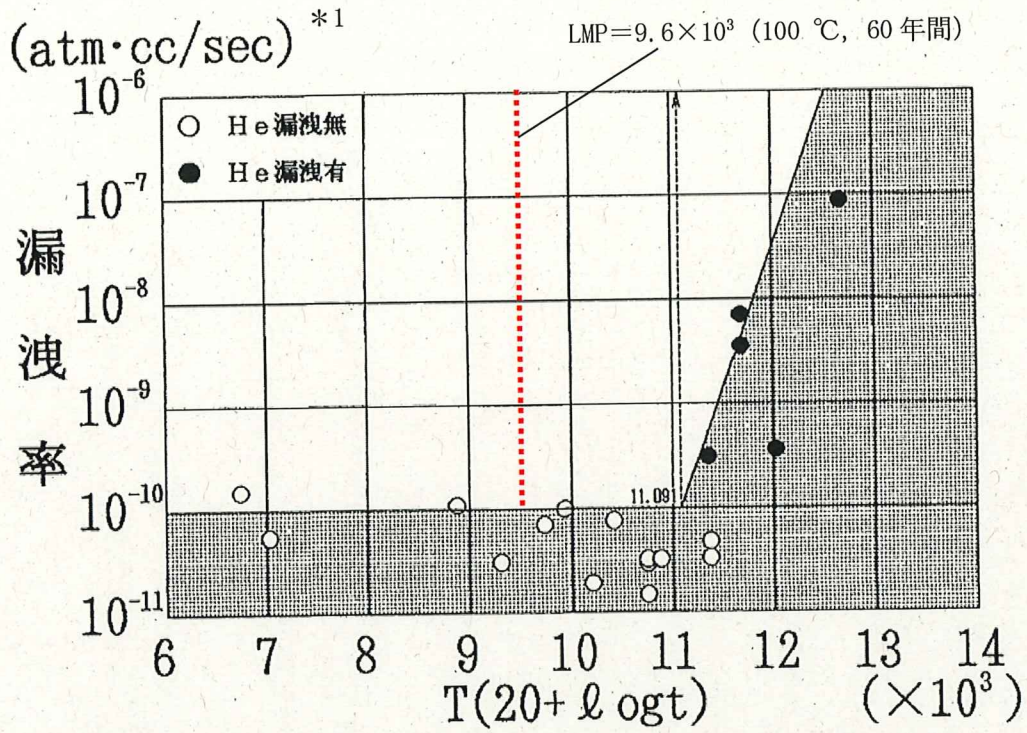


図 2-4 金属キャスクの閉じ込め評価フロー



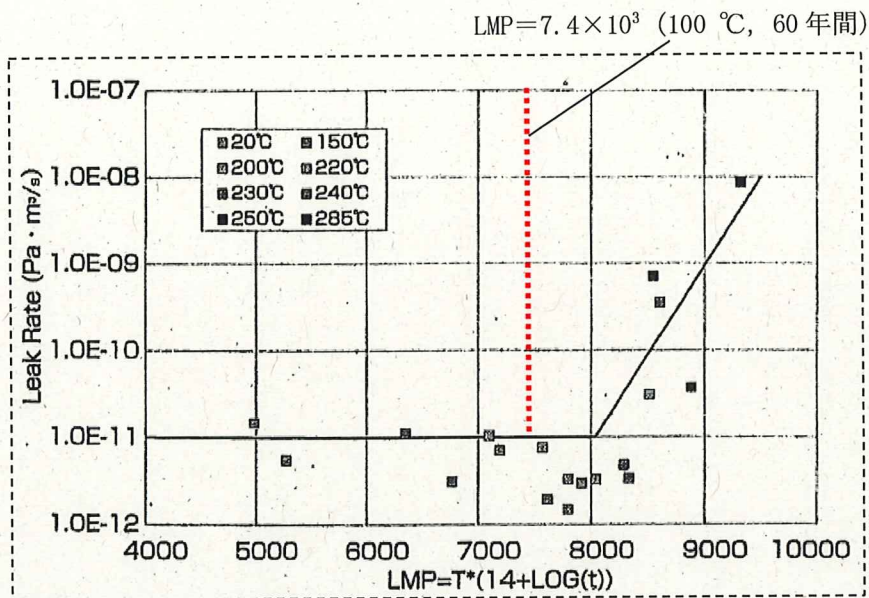
注記*1 : 1 atm·cc/sec ≒ 1×10⁻¹ Pa·m³/s

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

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

図 2-5 LMP の定数 C=20 における漏えい率と LMP⁽³⁾



$$LMP = T \cdot (14 + \log t)$$

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

図 2-6 LMP の定数 C=14 における漏えい率と LMP⁽⁶⁾

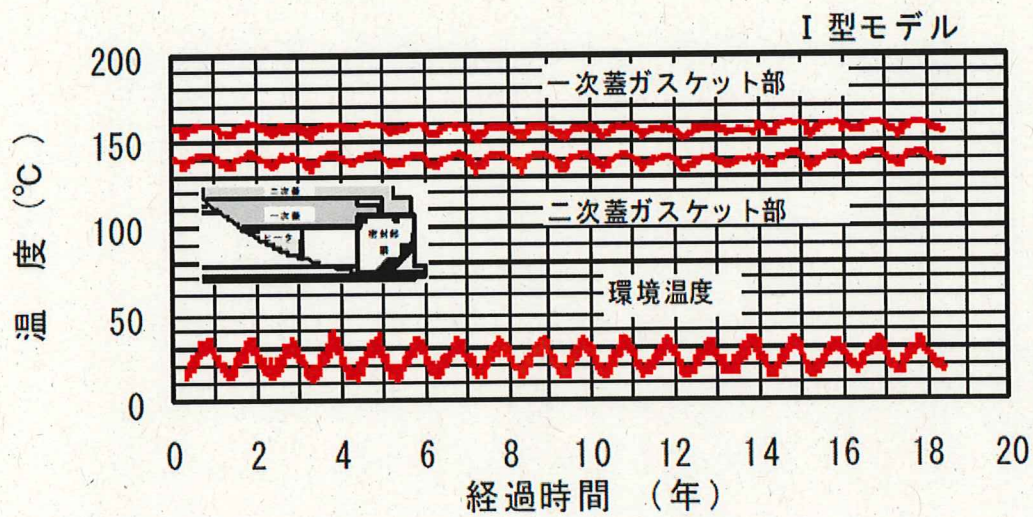
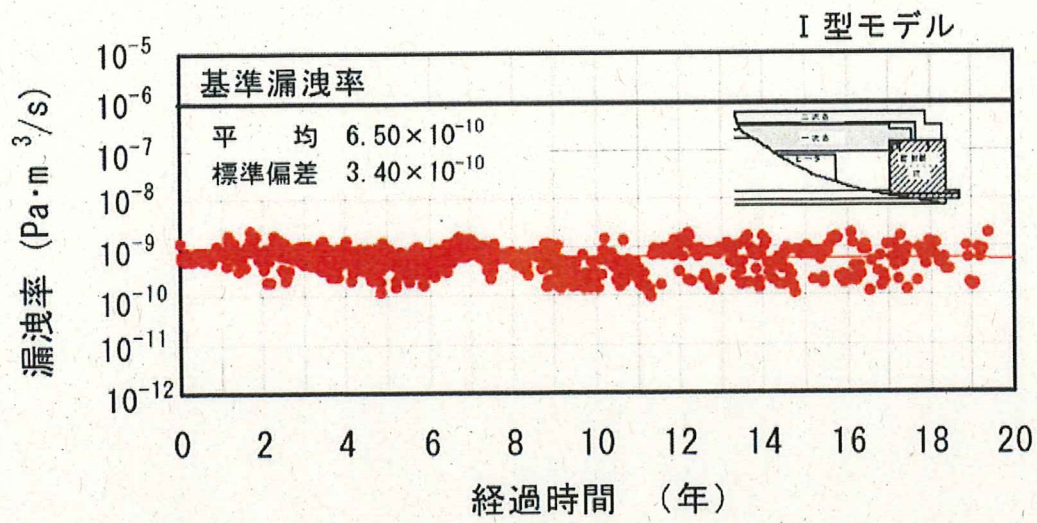


図 2-7 金属ガスケット (二次蓋) の長期密封性能試験結果 (眼鏡型)⁽⁷⁾

基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び評価結果

1. 評価方法

HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の計算フローを別紙 1-1 図に示す。また、漏えい率計算の概要を別紙 1-2 図に示す。

HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率 Q_s は、設計貯蔵期間 (60 年) 経過後に金属キャスク本体内部の負圧が維持できるシール部の標準状態 (大気圧, 25 °C) での漏えい率である。

基準漏えい率 Q_s は、貯蔵時における HDP-69B(B)型の温度、本体内部の空間容積及び圧力等を基に、金属キャスク本体内部の圧力が設計貯蔵期間経過後に大気圧となるように求めた漏えい孔径 D_0 を用い、標準状態における漏えい率として算出される。HDP-69B(B)型の蓋間から容器内への漏えい流路は、別紙 1-2 図に示すように、一次蓋の金属ガスケットからの流路と、一次蓋貫通孔のバルブカバー (二か所) の金属ガスケットからの流路がある。この二つの漏えい流路は金属ガスケットの仕様が異なるため、それぞれの金属ガスケット仕様を用いて個別に評価を行い、リークテスト判定基準 Q_t を適切に設定する。

基準漏えい率 Q_s の計算過程を以下に示す。

漏えい率は、日本原子力学会標準⁽¹⁾に基づき、以下の式①、②から求めている。時間が dt だけ変化する間に金属キャスク本体内部の圧力が dPd だけ変化する漏えい率を Q とすれば、金属キャスク本体内部空間容積は一定であることから、金属キャスク本体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。

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

ここで、

dPd : 金属キャスク本体内部圧力の変化 (Pa)

Td : 金属キャスク本体内部代表温度 (K)

Q : 金属キャスク本体内部圧力 Pd のときのシール部の漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)

T : シール部の代表温度 (=漏えいガスの温度) (K)

Vd : 金属キャスク本体内部空間容積 (m^3)

dt : 時間の変化 (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。

$$\left. \begin{aligned}
 Q &= L \cdot P_a \\
 L &= (F_e + F_m) \cdot (P_u - P_d) \\
 F_e &= \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu} \\
 F_m &= \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{②}$$

ここで、

- Q : 漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
- L : 流れの平均圧力 P_a における体積漏えい率 (m^3/s)
- F_e : 連続流のコンダクタンス係数 ($\text{m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$)
- F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数 ($\text{m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$)
- P_u : 上流側の圧力 (Pa)
- P_d : 下流側の圧力 (Pa)
- D_0 : 漏えい孔径 (m)
- a : 漏えい孔長 (m)
- P_a : 流れの平均圧力 (Pa), $P_a = (P_u + P_d)/2$
- μ : 漏えいガスの粘性係数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
- T : シール部の代表温度 (=漏えいガスの温度) (K)
- M : 漏えいガスの分子量 (kg/mol)
- R_0 : 気体定数 ($\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)

式②を式①に代入すると、

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{T_d}{V_d \cdot T} \times \left\{ \frac{1}{2} F_e \cdot (P_u^2 - P_d^2) + F_m \cdot P_a \cdot (P_u - P_d) \right\} \dots\dots\dots \text{③}$$

蓋間圧力 (上流側の圧力) P_u (Pa) を一定として、式③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本体内部圧力 (下流側の圧力) $P_d = P_d(t)$ が得られる。つまり、

Pd(t) =

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

ここで、

$$Fe' = \frac{1}{2}Fe = \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu} \dots \textcircled{5}$$

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

である。

上記を基に、一次蓋シール部で漏えいする場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t は、以下のように計算される。

式④に、HDP-69B(B)型の一次蓋シール部について、

T_d : 金属キャスク内部代表温度 (K) (535.15 K (262 °C) : 評価値 (内部ガス最高温度))

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

V_d : 金属キャスク本体内部空間容積 (m^3) (m^3 : 設計値)

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

P_{d0} : 下流側 (金属キャスク本体内部) の初期圧力 (Pa) (8.0×10^4 Pa : 設計値)

a : 一次蓋シール部の漏えい孔長 (m) (m),

$$a = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{H}{2}\right)^2} \text{ (別紙1-3 図参照)}$$

D : 一次蓋金属ガスケットの断面径 (mm) (10 mm : 設計値)

H : 一次蓋の金属ガスケット溝深さ (mm) (mm : 設計値)

μ : Heの粘性係数 (Pa · s) (1.77×10^{-5} Pa · s : 文献値⁽²⁾ (-22.4 °Cの値))

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

R_0 : 気体定数 (J/(mol · K)) (8.314472 J/(mol · K) : 文献値⁽³⁾)

t : 設計貯蔵期間 (60年 = $60 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60$ s = 1.893456×10^9 s)

を代入して、金属キャスク本体内部圧力 P_d 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。

別紙 1-3

内は商業機密のため、非公開とします。

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。

$$\Delta P = P_{He} + P_{FP} \dots\dots\dots ⑦$$

ここで、

P_{He} : 使用済燃料内の初期封入ガス分圧 (Pa)

P_{FP} : FPガス分圧 (Pa)

使用済燃料内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。

$$P_{He} = P_0 \times \frac{V_p}{V_d + V_p} \times \frac{T_d}{T_0} \dots\dots\dots ⑧$$

$$P_{FP} = \frac{m \times R_0 \times T_d}{V_d} \dots\dots\dots ⑨$$

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 : 燃料集合体1体当たりの燃料棒本数 (本) (62本 : 設計値)

N : 金属キャスク1基当たりの燃料集合体収納体数 (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 : 金属キャスク本体内部空間容積 (m^3) (m^3 : 設計値)

T_d : 金属キャスク内部代表温度 (K)

(535.15 K(262 °C) : 評価値 (内部ガス最高温度))

T_0 : 燃料棒初期封入時温度 (K) (K (°C) : 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⁾)

別紙1-4 内は商業機密のため、非公開とします。

R_0 : 気体定数 (J/(mol·K)) (8.314472 J/(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 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。

$$Pd(t=60 \text{ 年}) = 9.7 \times 10^4 - \text{} \times 10^3 \text{ Pa} = \text{} \times 10^4 \text{ Pa のとき, } D_0 = \text{} \text{ m}$$

また、リークテスト判定基準 Q_t 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貯蔵期間経過後にさらに蓋間空間ガス全量の金属キャスク本体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。

$$Pd(t=60 \text{ 年}) = \text{} \text{ Pa のとき, 漏えい孔径 : } D_0 = \text{} \text{ m}$$

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

基準漏えい率 Q_s は、先に得られた漏えい孔径 $D_0 = \text{} \text{ m}$ の漏えい孔に対して、別紙 1-1 表の条件をクヌッセンの式 (式②) に代入することで求められる。

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

一方、バルブカバーシール部で漏えいする場合についても、金属ガスケットの断面径 $D = 5.6 \text{ mm}$ 及び金属ガスケット溝深さ $H = \text{} \text{ mm}$ を用いて上記と同じ計算を実施することによって基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t が評価される。

2. 評価結果

別紙 1-2 表に、一次蓋シール部で漏えいした場合とバルブカバーシール部で漏えいした場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の比較を示す。別紙 1-2 表に示すとおり、一次蓋シール部で漏えいした場合とバルブカバーシール部で漏えいした場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の評価結果は、同程度である。

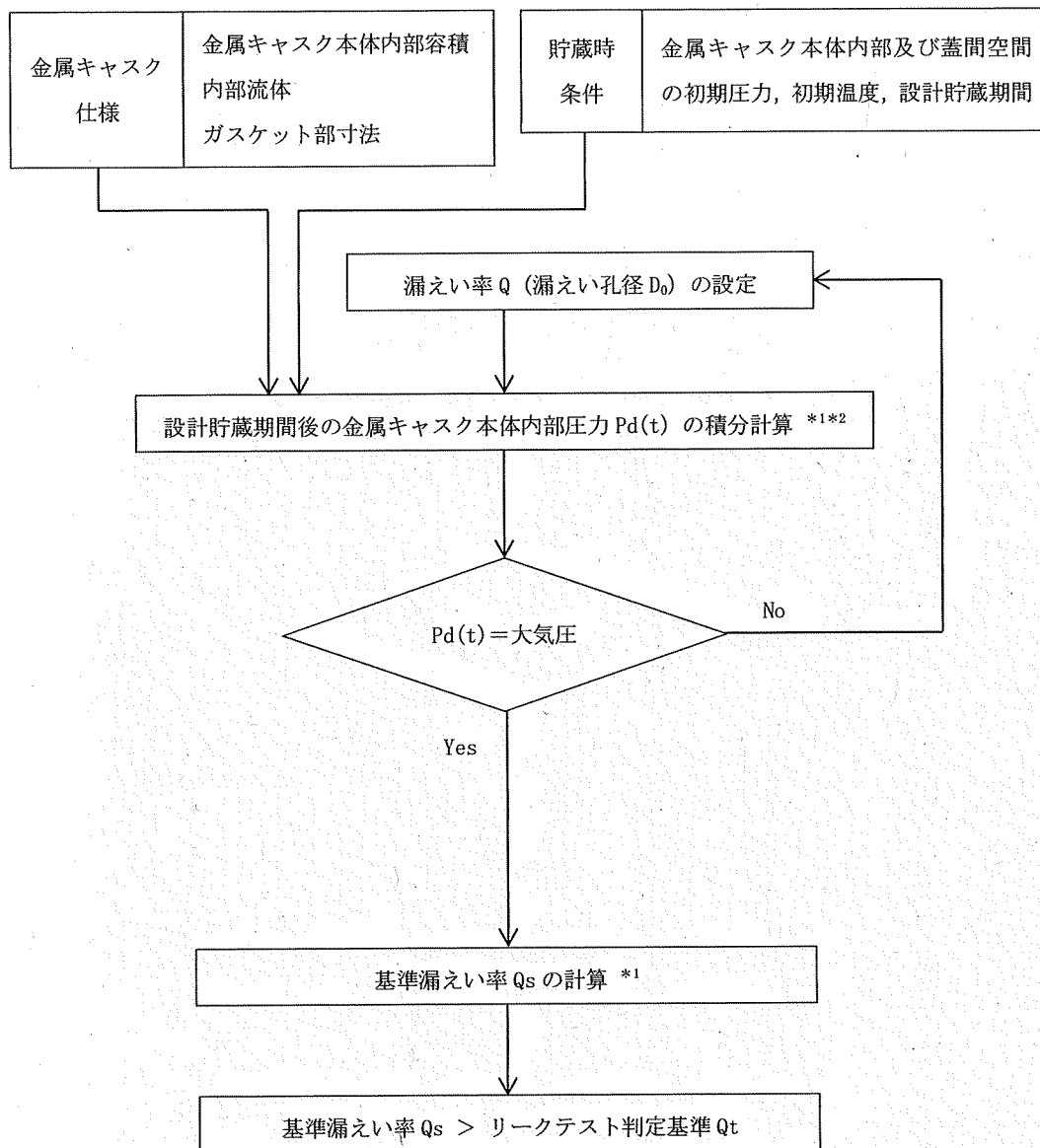
したがって、HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t としては、より値の小さい一次蓋シール部で漏えいした場合を代表として、それぞれ $Q_s = 2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_t = 1.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ とする。また、これにより、気密漏えい検査においては、三か所の漏えい率の合計がリークテスト判定基準 Q_t を超えないように、それぞれの判定基準を設定することができる。

別紙 1-5

内は商業機密のため、非公開とします。

3. 参考文献

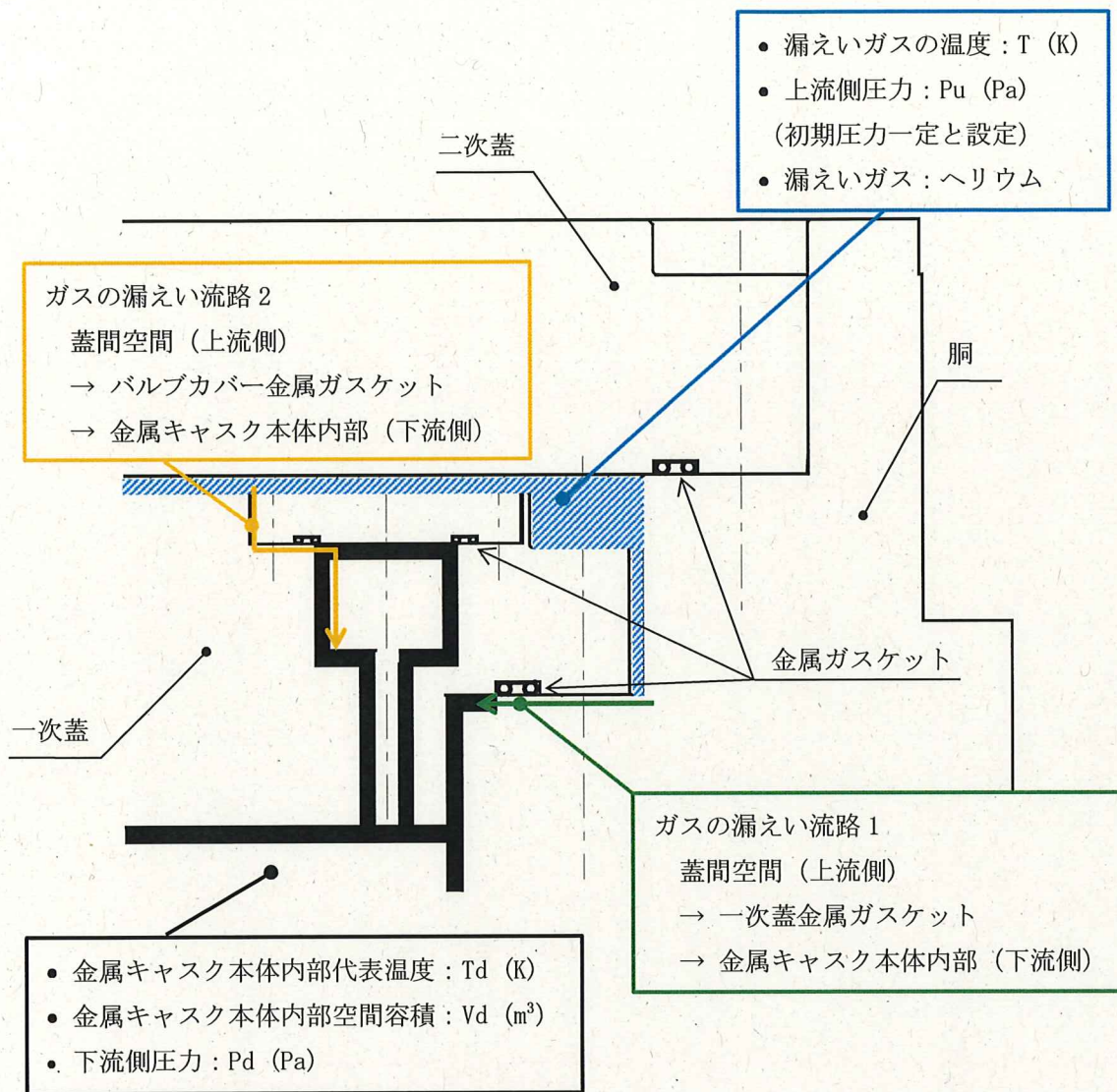
- (1) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キヤスクの安全設計及び検査基準:2010(AESJ-SC-F002:2010)」(2010年7月)
- (2) (一社)日本機械学会,「伝熱工学資料 改訂第4版」
- (3) 「国立天文台編 理科年表 平成19年」,丸善(株)(2006)
- (4) (一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準:2013」(AESJ-SC-F006:2013)(2014年11月)



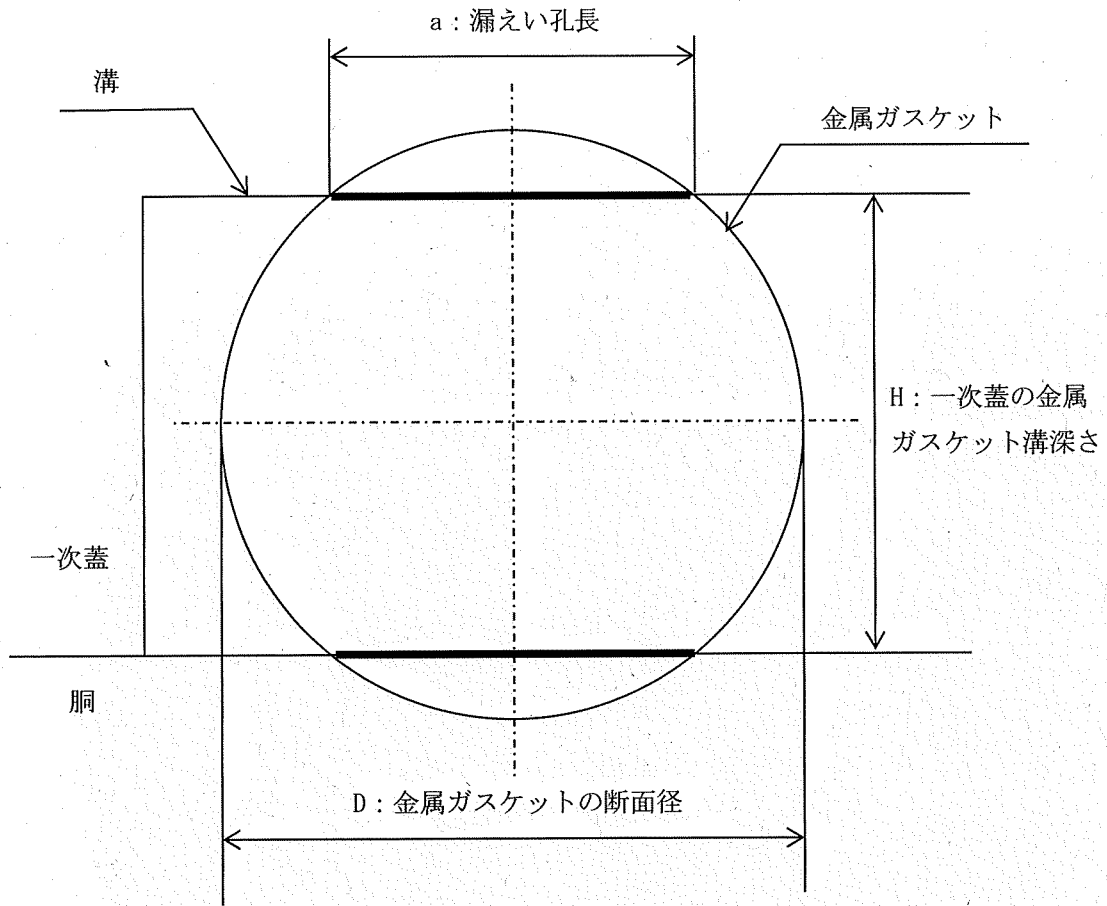
注記*1：クヌッセンの式に基づく計算

*2：ボイル・シャルルの法則に基づく計算

別紙 1-1 図 基準漏えい率及びリークテスト判定基準の計算フロー



別紙 1-2 図 漏えい率計算の概要



別紙 1-3 図 漏えい孔長

別紙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	大気圧
温度	25 °C	
内部流体	ヘリウム 分子量： 4.002602×10^{-3} kg/mol 粘性係数： 1.98×10^{-5} Pa·s (25 °C)	

別紙1-2表 一次蓋シール部で漏えいした場合とバルブカバーシール部で漏えいした場合の漏えい率評価結果の比較

	一次蓋シール部で漏えいした場合	バルブカバーシール部で漏えいした場合
金属ガスケットの断面径	10 mm	5.6 mm
金属ガスケット溝深さ	<input type="text"/> mm	<input type="text"/> mm
漏えい孔長	<input type="text"/> m	<input type="text"/> m
基準漏えい率 Q_s における漏えい孔径	<input type="text"/> m	<input type="text"/> m
基準漏えい率 Q_s	$2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	$2.5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
リークテスト判定基準 Q_t における漏えい孔径	<input type="text"/> m	<input type="text"/> m
リークテスト判定基準 Q_t	$1.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	$1.7 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

別紙 1-11 内は商業機密のため、非公開とします。

(一財) 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性

1. 妥当性の説明

HDP-69B(B)型の閉じ込め評価では、図 2-5 に示す (一財) 電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果⁽¹⁾を基に、HDP-69B(B)型に使用する金属ガスケットは長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間 (60 年) を通じて初期の漏えい率が維持できることを示している。

また、上記に加え、図 2-7 に示す (一財) 電力中央研究所で実施された実規模の金属キヤスク蓋部モデルによる長期密封性能試験結果⁽²⁾からも金属ガスケットの漏えい率が維持できることを補足的に説明している。

これらの試験で使用した金属ガスケットと HDP-69B(B)型の金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価を別紙 2-1 表に示す。別紙 2-1 表に示すとおり、仕様の一部 (断面径及び内径) について相違点はあるが、HDP-69B(B)型の閉じ込め評価において、(一財) 電力中央研究所の試験結果を適用することは妥当である。

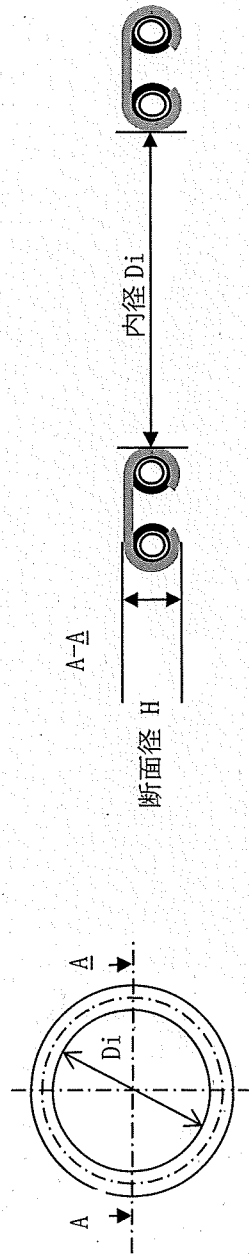
2. 参考文献

- (1) 加藤治, 伊藤千浩, 「電力中央研究所報告 使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (一財)電力中央研究所, U92009 (平成4年7月)
- (2) (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(中間貯蔵設備等長期健全性等試験)報告書」(2010年3月)
- (3) (一財)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」(平成13年3月)
- (4) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「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)

別紙 2-1 表 金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価

項目	(一財) 電力中央研究所の 長期密封性能試験		HDP-69B (B) 型	仕様相違点に対する評価
	要素試験 ⁽¹⁾	実規模試験 ⁽²⁾		
タイプ	ばね入りメタルCリング			相違なし
材質	外被材：アルミニウム 内被材：ニッケル基金金 コイルスプリング：ニッケル基金金			相違なし
H：断面径 (mm)	一次蓋	6.1 *1	10	(一財) 原子力発電技術機構で実施された金属ガスケットの密封性能試験において、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 ⁽³⁾ 。 HDP-69B (B) 型の金属ガスケット断面径は (一財) 電力中央研究所の試験と同等であり、HDP-69B (B) 型の金属ガスケットの閉じ込め性能は (一財) 電力中央研究所の試験で用いられたガスケットと同等である。
	バルブ カバ-	5.5	5.6	
Di：内径 (mm)	一次蓋	1767 *1	~1700 程度	金属ガスケットの周長の違いによるクリープ変形の閉じ込め性能への影響は無いと評価されている ⁽⁴⁾ 。したがって、内径の違いは、初期の漏えい率を長期間維持できるかという観点では影響は無い。
	バルブ カバ-	176	~100 程度	

注記*1：実規模試験の断面径 (H) 及び内径 (Di) は、漏えい率測定を実施した二次蓋の値を示す。



資料 5

添付書類 5

使用済燃料等の除熱に関する説明書

目 次

1. 設計方針	1
2. 除熱設計	2
3. 参考文献	5

別紙 1 除熱解析のモデル化及び解析条件について

別添 1 塗装の放射率設定根拠

別添 2 形態係数の算出過程

別添 3 燃料集合体領域の等価熱伝導率算出式中の係数Kについて

別紙 2 二次元除熱解析モデルの妥当性について

図表目次

図 2-1	HDP-69B(B)型の構造図	6
図 2-2	除熱解析フロー図	7
図 2-3	使用済燃料の収納配置条件 (配置(i)) (新型 8×8 ジルコニウムライナ 燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)	8
図 2-4	使用済燃料の収納配置条件 (配置(ii)) (新型 8×8 ジルコニウムライナ 燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)	9
図 2-5	使用済燃料の収納配置条件 (配置(iii)) (新型 8×8 燃料のみを収納する 場合)	10
図 2-6	HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の設計崩壊熱量軸方向分布 (使用済 燃料 69 体分の設計崩壊熱量を示す。)	11
図 2-7	全体モデル形状図	12
図 2-8	全体モデル要素分割図	13
図 2-9	輪切りモデル形状図	14
図 2-10	輪切りモデル要素分割図	15
図 2-11	燃料集合体モデル形状図 (新型 8×8 燃料, 新型 8×8 ジルコニウムライ ナ燃料の場合)	16
図 2-12	燃料集合体モデル形状図 (高燃焼度 8×8 燃料の場合)	16
図 2-13	燃料集合体モデル要素分割図	17
図 2-14	配置(i)の除熱解析結果 (全体モデル)	18
図 2-15	配置(i)の除熱解析結果 (輪切りモデル)	19
図 2-16	配置(i)の除熱解析結果 (燃料集合体モデル)	19
図 2-17	配置(ii)の除熱解析結果 (全体モデル)	20
図 2-18	配置(ii)の除熱解析結果 (輪切りモデル)	21
図 2-19	配置(ii)の除熱解析結果 (燃料集合体モデル)	21
図 2-20	配置(iii)の除熱解析結果 (全体モデル)	22
図 2-21	配置(iii)の除熱解析結果 (輪切りモデル)	23
図 2-22	配置(iii)の除熱解析結果 (燃料集合体モデル)	23
表 2-1	除熱機能の設計基準	24
表 2-2	使用済燃料の仕様	25
表 2-3	使用済燃料の崩壊熱量計算条件及び結果	26
表 2-4	使用済燃料の軸方向燃焼度分布 (配置(i)及び(iii))	27
表 2-5	使用済燃料の軸方向燃焼度分布 (配置(ii))	28
表 2-6	除熱解析結果	29

1. 設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び基本的安全機能を有する金属キャスク構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去する設計とする。具体的な設計方針は以下のとおりである。

- ・燃料被覆管の温度を、設計貯蔵期間を通じて燃料被覆管のクリープ破損及び燃料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とした。
- ・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とした。

また、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲から、以下の項目を、HDP-69B(B)型が使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計の条件とする。

- ・金属キャスクの貯蔵場所：貯蔵建屋内
- ・貯蔵区域における金属キャスク周囲温度：45 °C
- ・貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度：65 °C

2. 除熱設計

(1) 除熱機能に関する構造

HDP-69B(B)型は、使用済燃料の崩壊熱を熱伝導、対流、ふく射によりHDP-69B(B)型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。HDP-69B(B)型の構造図を図2-1に示す。HDP-69B(B)型は、除熱のために以下の設計上の配慮を行っている。

- 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(ほう素添加ステンレス鋼)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を収納する。
- b. 使用済燃料を収納する空間には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充填する。
- c. 側部の中性子遮蔽材(熱伝導率の低い樹脂)の内部には、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。

(2) 設計基準

HDP-69B(B)型の除熱機能の設計基準を表2-1に示す。

(3) 解析モデル及び解析条件

HDP-69B(B)型の除熱解析は、図2-2に示す除熱解析フローに従って行う。

a. 使用済燃料の収納配置

HDP-69B(B)型に収納される使用済燃料の収納配置は配置(i)、配置(ii)及び配置(iii)の3つである。これら収納配置における使用済燃料の配置条件をそれぞれ図2-3、図2-4及び図2-5に示す。除熱解析は、配置(i)、配置(ii)及び配置(iii)それぞれについて行う。

b. 使用済燃料の崩壊熱量設定

HDP-69B(B)型に収納される使用済燃料の仕様を表2-2に示す。使用済燃料の崩壊熱量は、燃料集合体の種類、燃焼度、初期濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コードORIGEN2を使用して求められる。使用済燃料の崩壊熱量の計算に用いる計算条件及び計算結果を表2-3に示す。

除熱解析に使用する金属キャスク1基当たりの崩壊熱量(以下「設計崩壊熱量」という。)は、使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して次式のとおり設定した(図2-6参照)。

[設計崩壊熱量]=[使用済燃料 (平均燃焼度*¹) 1体当たりの崩壊熱量 (軸方向燃焼度分布を考慮*²)]×1.05*³×[収納体数]

注記*1: 平均燃焼度とは、金属キャスク 1 基当たりに収納される使用済燃料に対する燃焼度の平均値を表す。

*2: 使用済燃料の軸方向燃焼度の平均値に対する燃焼度の比 (ピーキングファクター (以下「PF」という。)) を用いて考慮する。PF は、収納する使用済燃料の軸方向燃焼度分布を包絡するように設定している。

*3: ORIGEN2 コードの計算結果に 5 %の保守性を考慮する。

表 2-3 より、使用済燃料 1 体当たりの崩壊熱量は配置 (i) では新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、配置 (ii) では高燃焼度 8×8 燃料の値が大きいため、これらの値を用いて配置 (i) 及び配置 (ii) の設計崩壊熱量を設定した。

配置 (i)、配置 (ii) 及び配置 (iii) の設計崩壊熱量は、以下のとおり計算した。

(配置 (i) : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納した場合)

[設計崩壊熱量]=0.2118 (kW/体)×1.05×69 (体)=15.34 (kW)

(配置 (ii) : 高燃焼度 8×8 燃料を収納した場合)

[設計崩壊熱量]=0.2116 (kW/体)×1.05×69 (体)=15.33 (kW)

(配置 (iii) : 新型 8×8 燃料を収納した場合)

[設計崩壊熱量]=0.1432 (kW/体)×1.05×69 (体)=10.37 (kW)

c. 解析モデル

除熱解析は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、有限要素法による伝熱解析コード(ABAQUS)を用いて行った。使用した解析モデルは以下の3つである。

・金属キャスク熱解析モデル

- ①軸方向全体モデル (以下「全体モデル」という。)
- ②径方向輪切りモデル (以下「輪切りモデル」という。)

・燃料被覆管熱解析モデル

- ③燃料集合体モデル

各解析モデルの形状図及び要素分割図を図 2-7～図 2-13 に示す。また、モデル化の方法を別紙 1 に示す。

各解析モデルで評価する部位は次のとおりである。

- ①全体モデル : 胴 (底板), 金属ガスケット, 中性子遮蔽材 (蓋部, 底部), 蓋部, トラニオン
- ②輪切りモデル : バスケット, 胴, 中性子遮蔽材 (側部), 外筒
- ③燃料集合体モデル : 燃料被覆管

全体モデル解析では、平均燃焼度の使用済燃料が 69 体収納されている条件 (発熱量の総量が設計崩壊熱量となる。) とした。輪切りモデル解析では、中央部の 37 体の使用済燃料は最高燃焼度の崩壊熱量とし、発熱量の総量が設計崩壊熱量となるように外周部の発熱量を調整した (さらに、軸方向への熱逃げを考慮した。詳細は別紙 1 に示す。)。燃料集合体モデル解析では最高燃焼度の崩壊熱量を用いた。

d. 境界条件

HDP-69B(B)型周囲の環境として、以下の条件を用いる (詳細条件を別紙 1 に示す。)

- ・貯蔵姿勢 : たて置き
- ・周囲温度 : 45 °C
- ・貯蔵建屋壁面温度 : 65 °C

(4) 除熱解析結果

HDP-69B(B)型の除熱解析結果を表 2-6 及び図 2-14～図 2-22 に示す。

解析の結果、燃料被覆管の温度及び金属キャスク各部位の温度は表 2-1 に示す設計基準値を満足しており、HDP-69B(B)型は使用済燃料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。

3. 参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構,「平成 18 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)」(平成 19 年 3 月)
- (2) (独)原子力安全基盤機構,「平成 19 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」(平成 20 年 3 月)
- (3) (一社)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 年 12 月)
- (4) N. Kumagai, et al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc. 15th Int. Symp. on PATRAM(2007)
- (5) (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 年 3 月)
- (6) (一社)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)
- (7) 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)

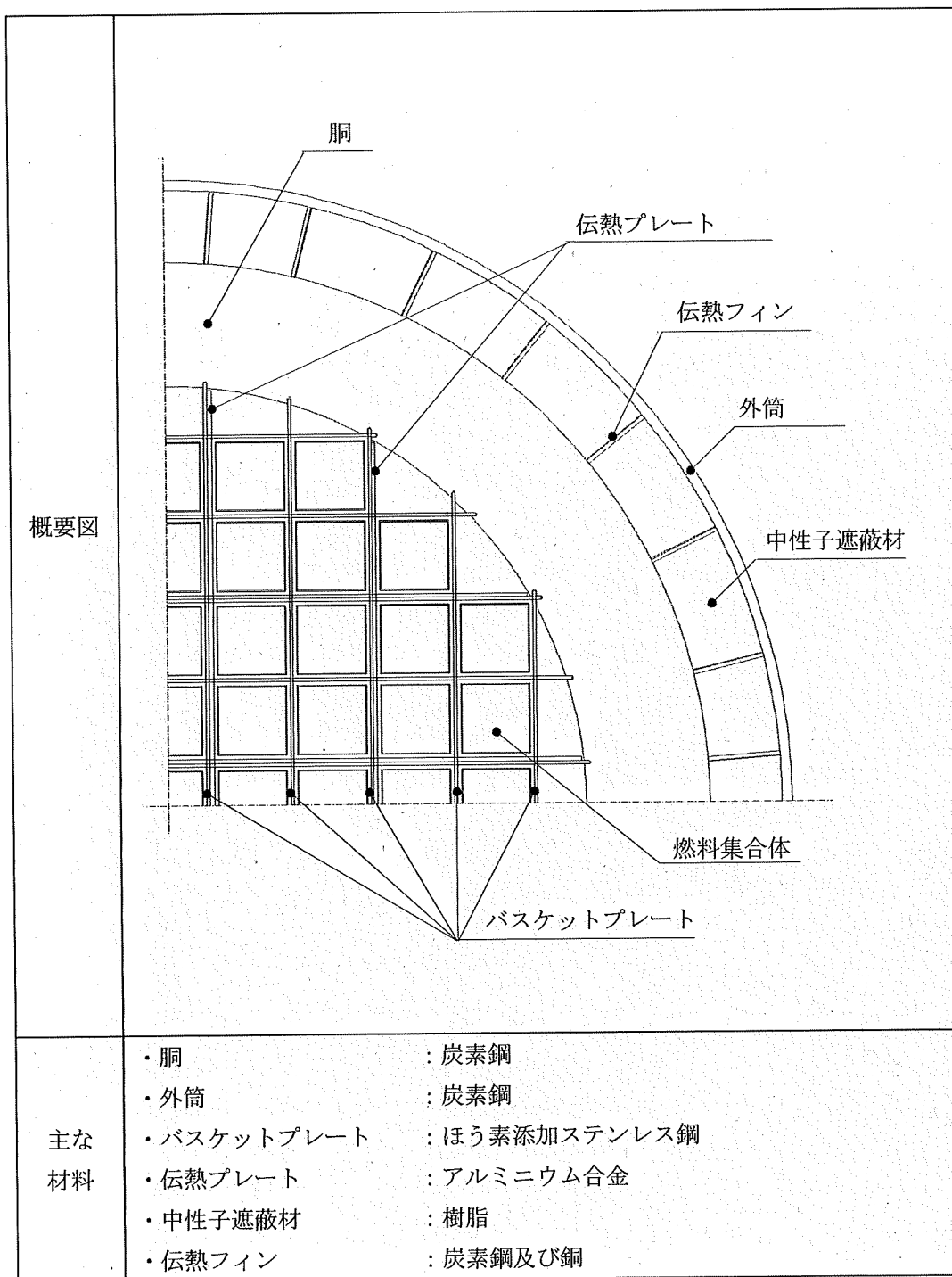


図 2-1 HDP-69B(B)型の構造図

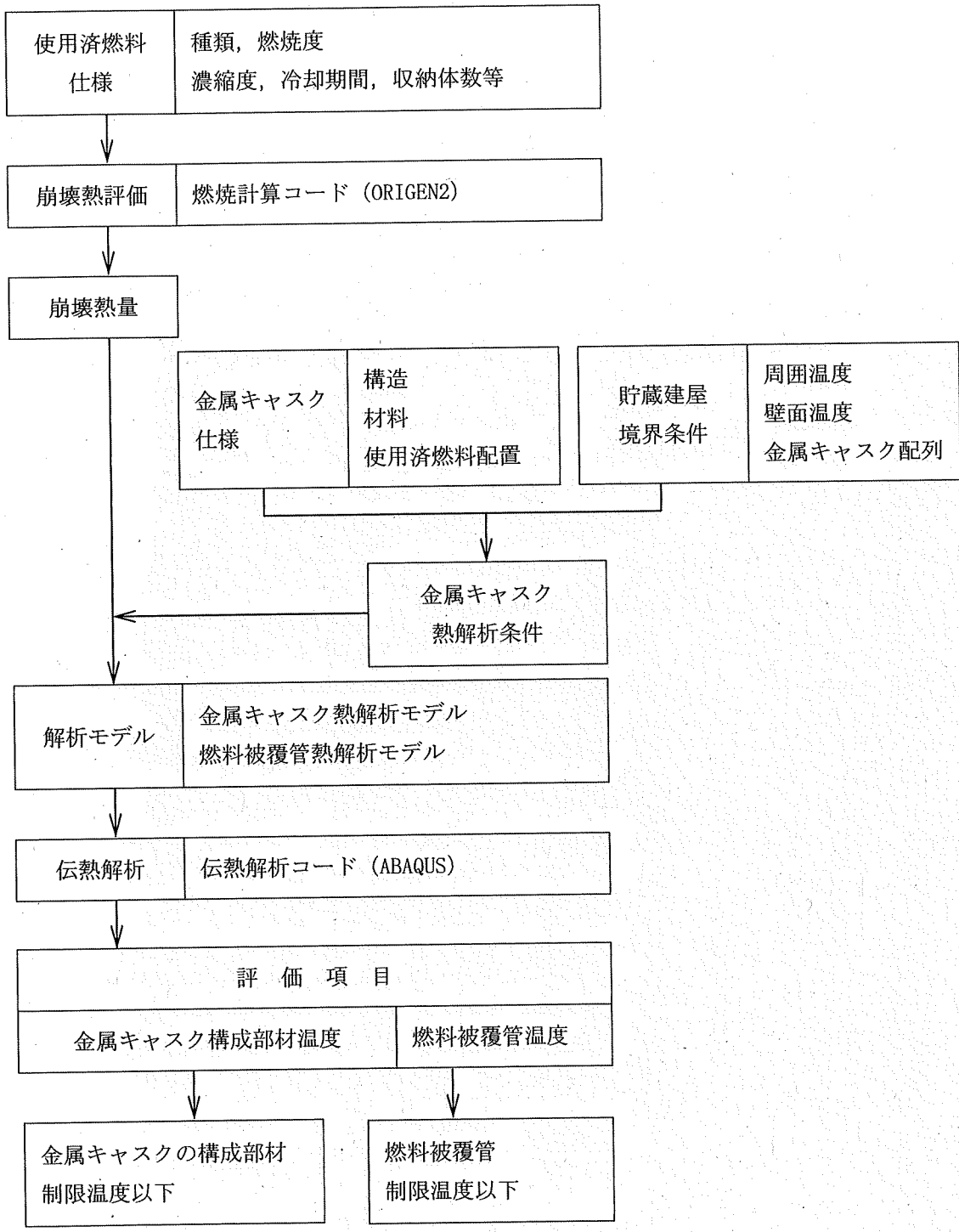
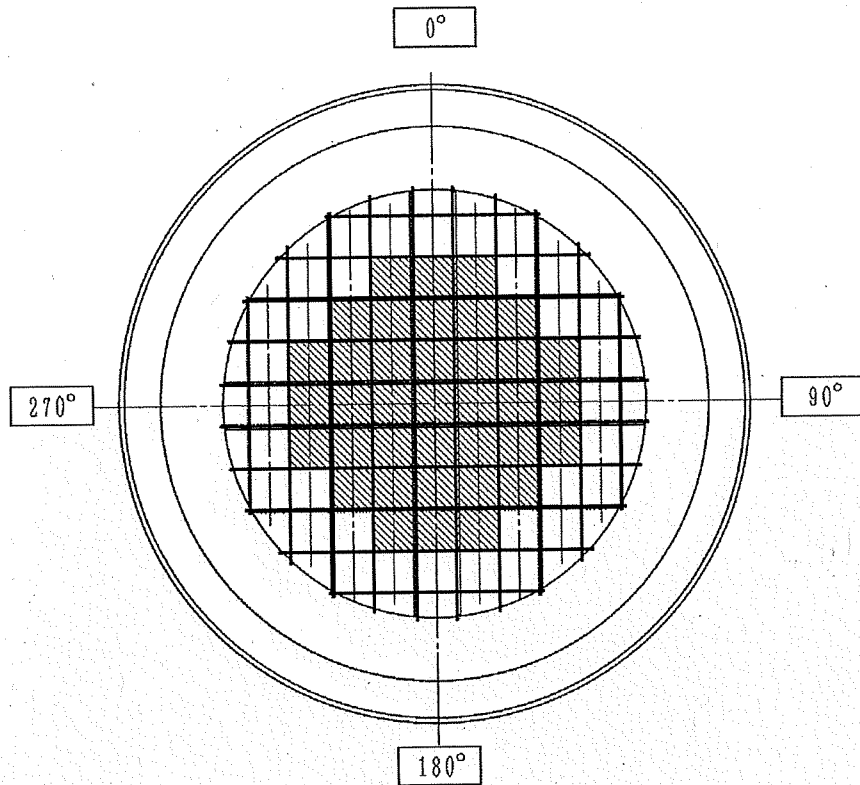


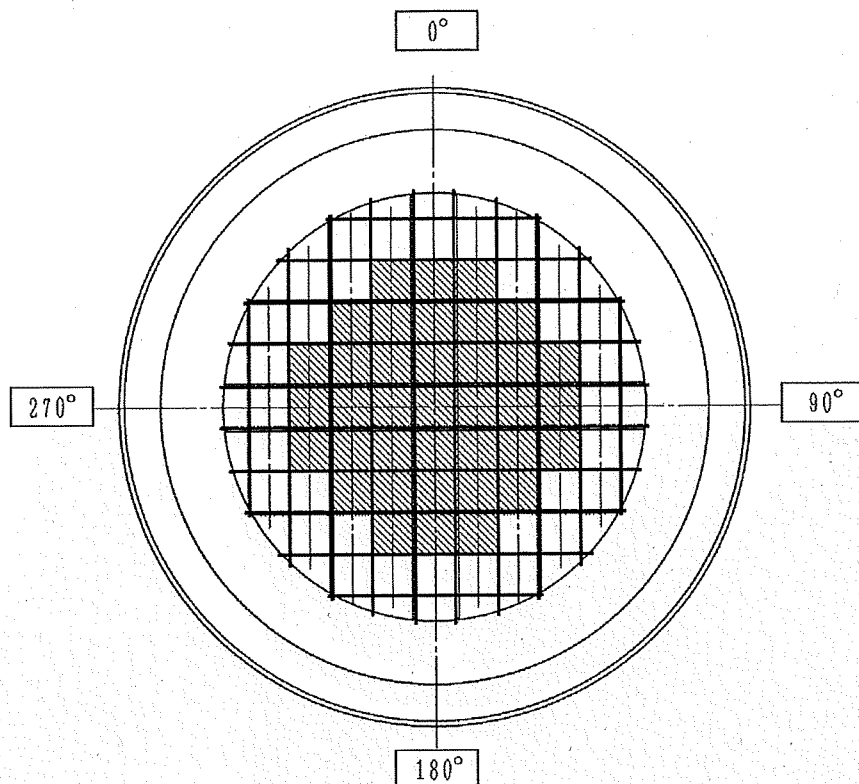
図 2-2 除熱解析フロー図



- 燃料種類 : 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
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上
- 燃料種類 : 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
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18 年以上
- 金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW*1 以下

注記*1: 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた (PF=1 とした) 値。

図 2-3 使用済燃料の収納配置条件 (配置 (i))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

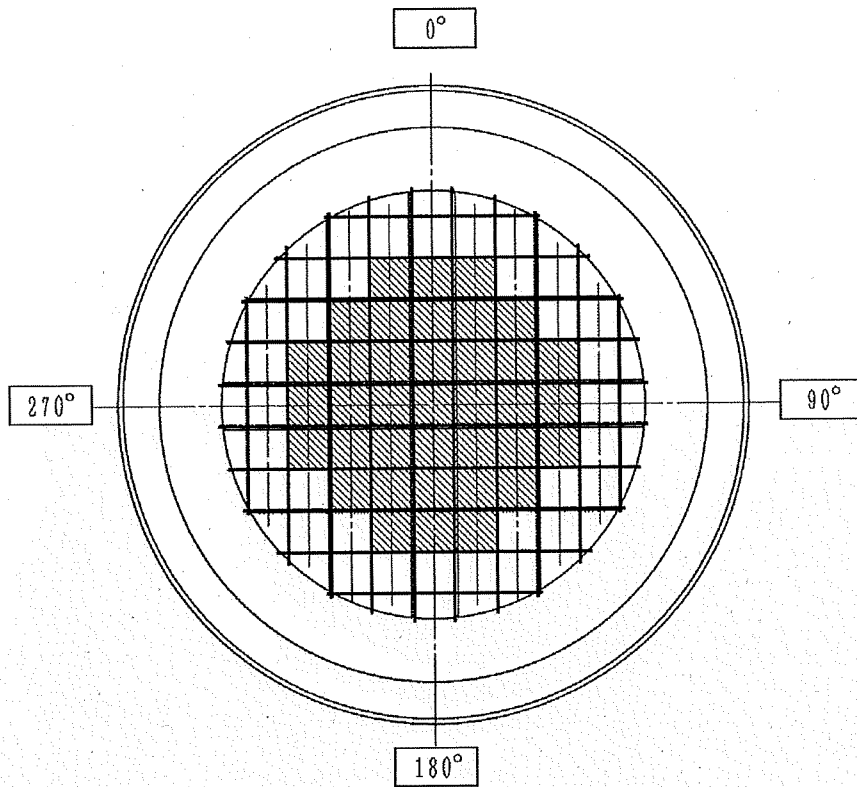


- | | |
|---|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></div> | <p>燃料種類 : 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</p> <p>収納体数 : 32 体</p> <p>燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 22 年以上</p> |
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></div> | <p>燃料種類 : 高燃焼度 8×8 燃料</p> <p>収納体数 : 37 体</p> <p>燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 20 年以上</p> |

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度	: 40,000 MWd/t 以下
金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量	: 13.8 kW*1 以下

注記*1: 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた (PF=1 とした) 値。

図 2-4 使用済燃料の収納配置条件 (配置(ii))
(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)



燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW^{*1}以下

注記*1: 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた (PF=1 とした) 値。

図 2-5 使用済燃料の収納配置条件 (配置 (iii))
 (新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

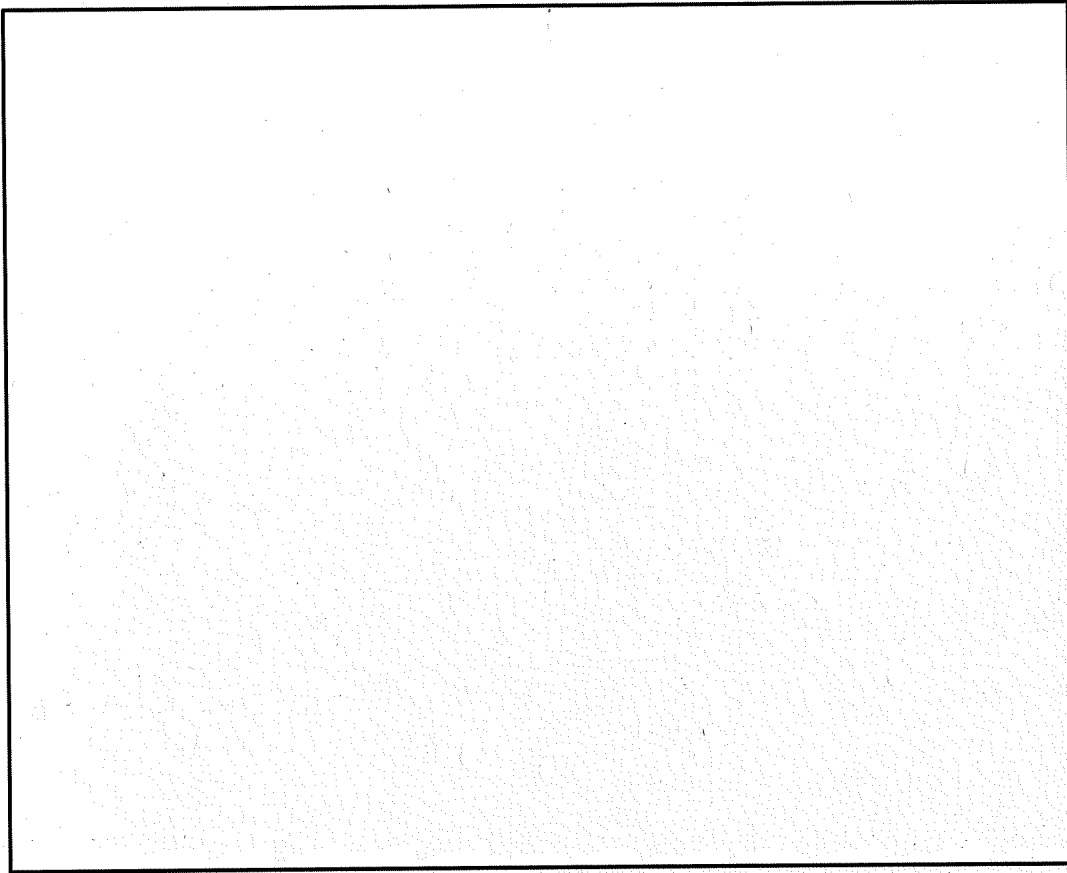


図 2-6 HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の設計崩壊熱量軸方向分布
(使用済燃料 69 体分の設計崩壊熱量を示す。)

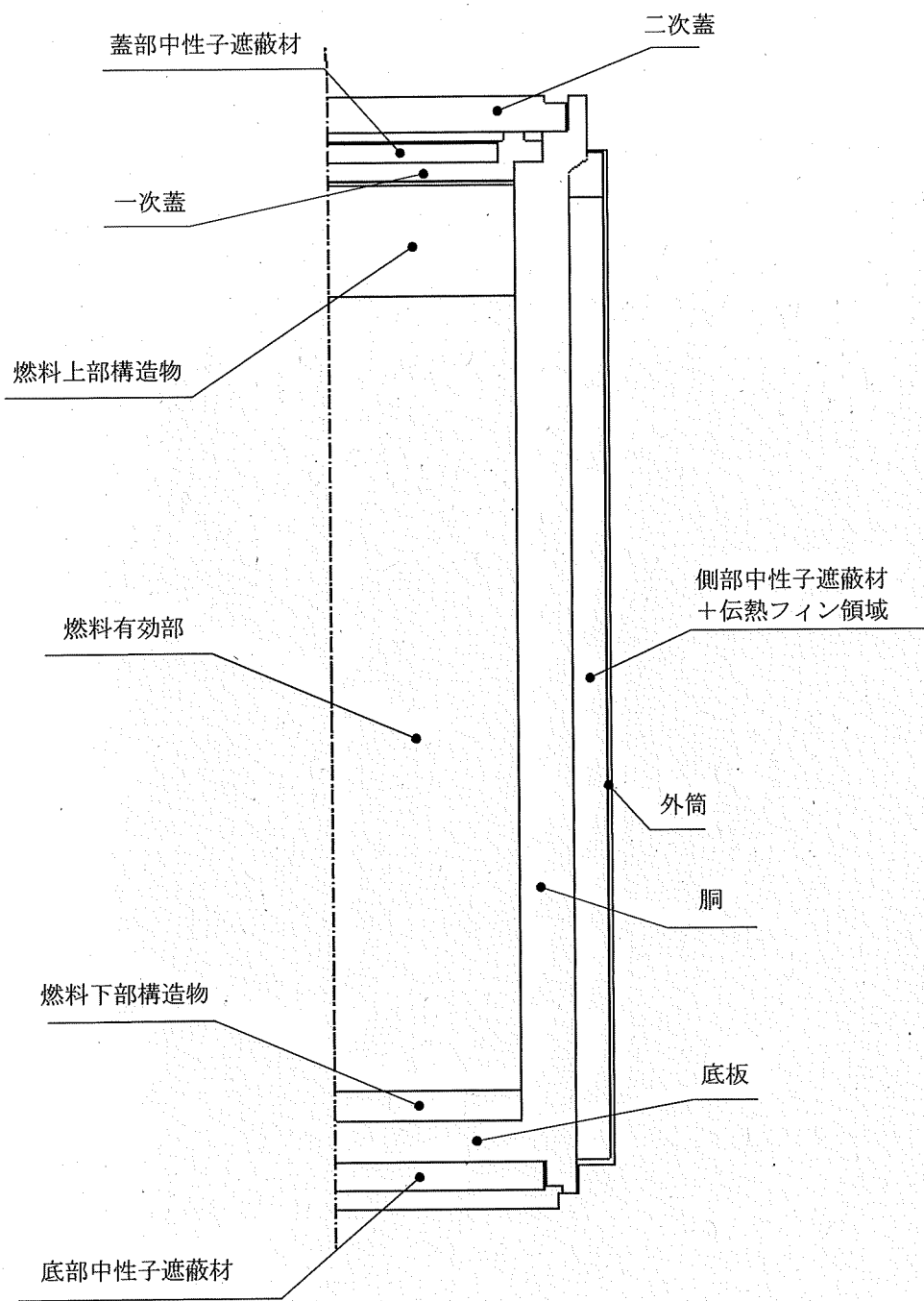


図 2-7 全体モデル形状図

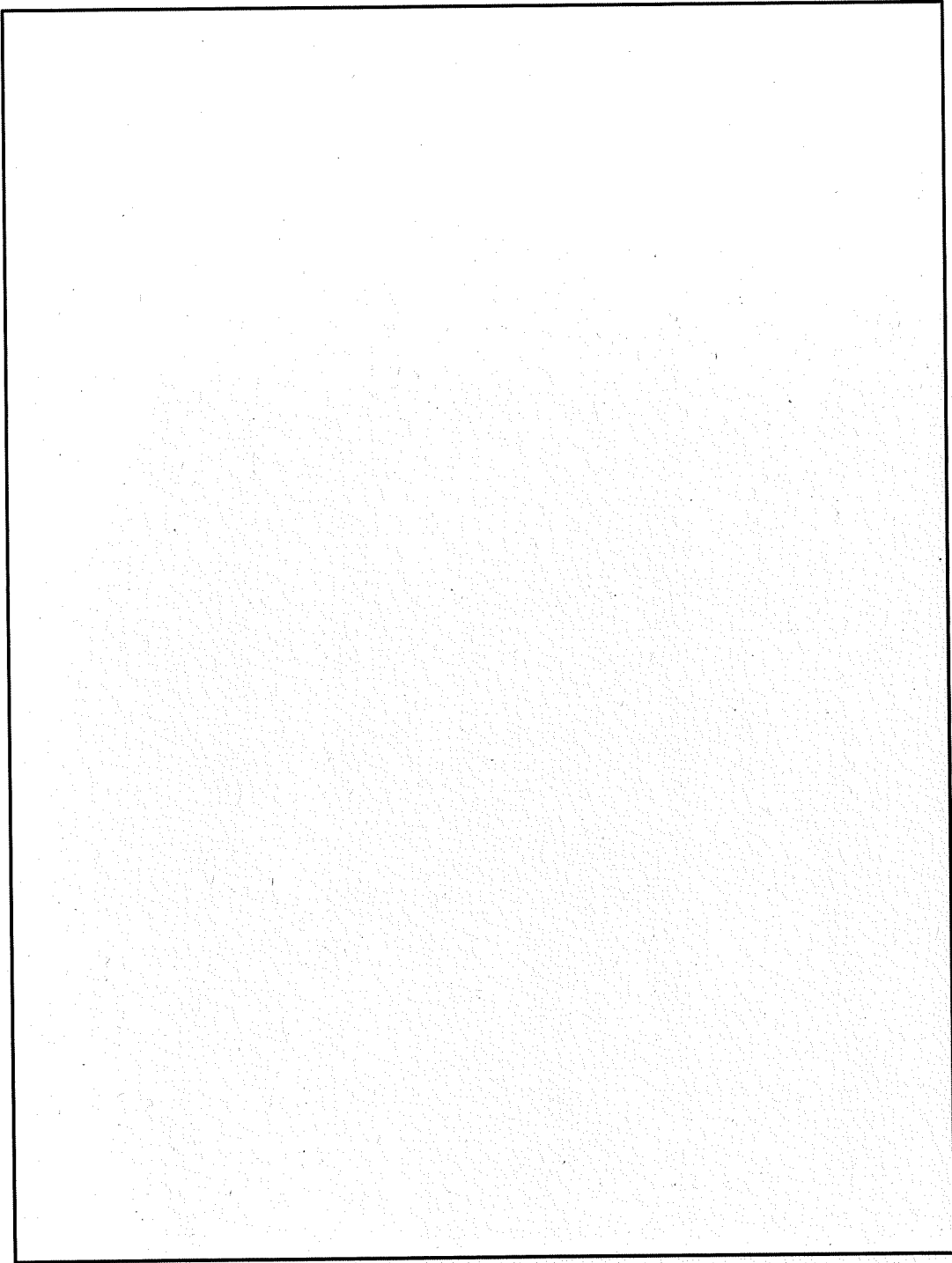


図 2-8 全体モデル要素分割図

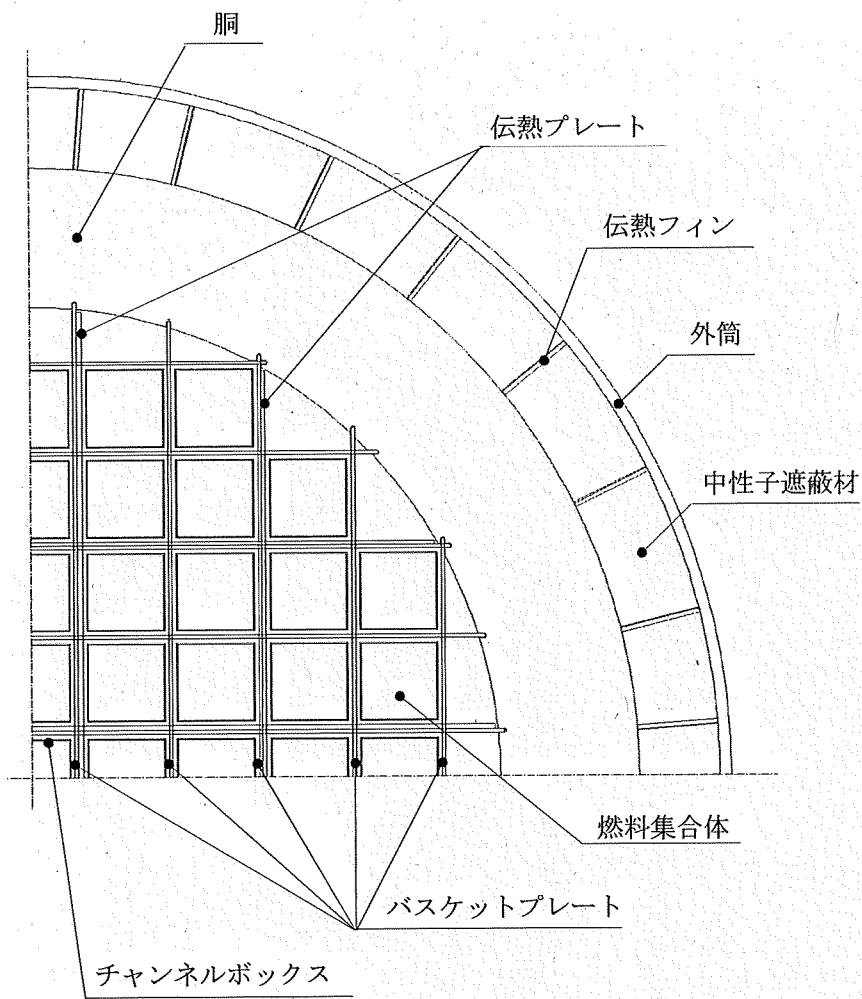


図 2-9 輪切りモデル形状図

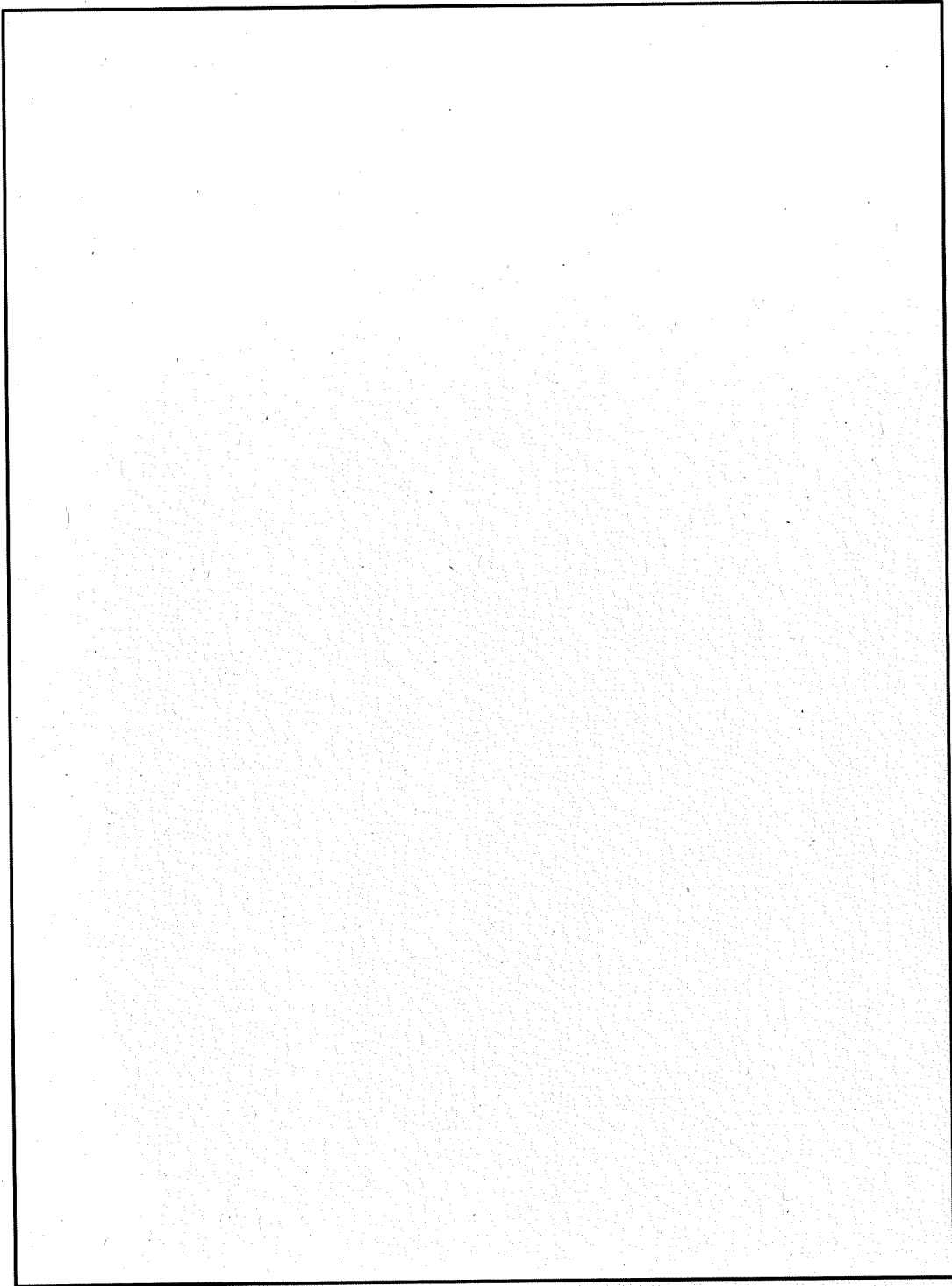
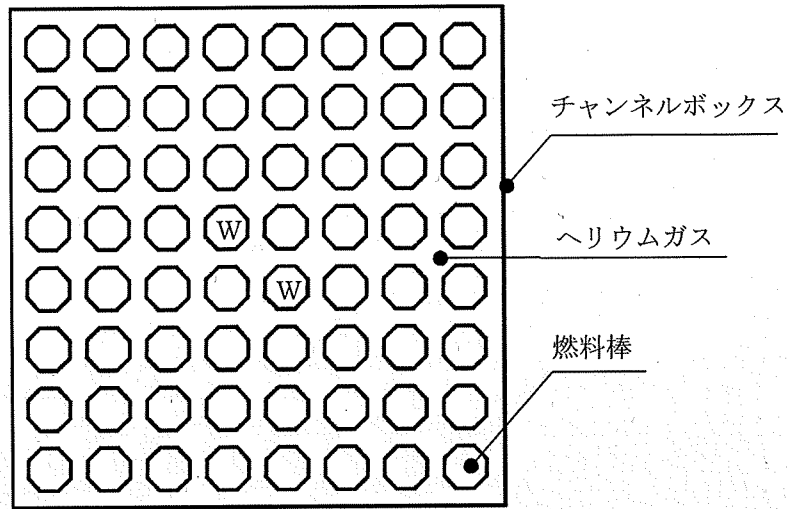
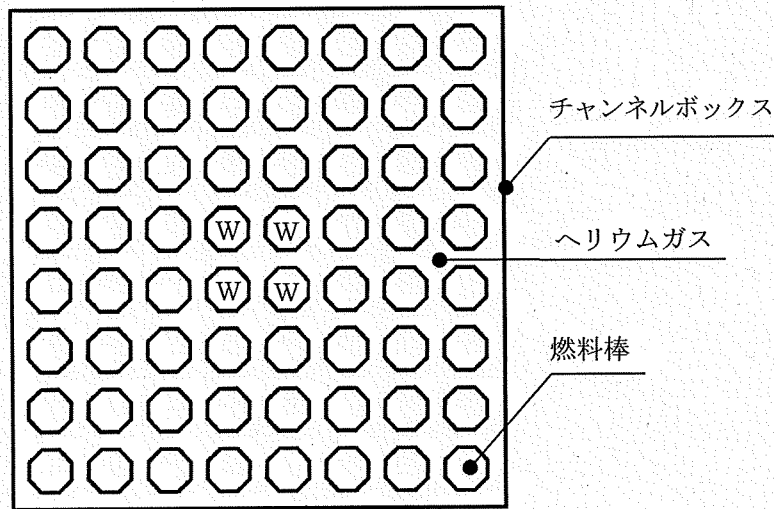


図 2-10 輪切りモデル要素分割図



注記：Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図 2-11 燃料集合体モデル形状図
(新型 8×8 燃料，新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の場合)



注記：Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図 2-12 燃料集合体モデル形状図
(高燃焼度 8×8 燃料の場合)

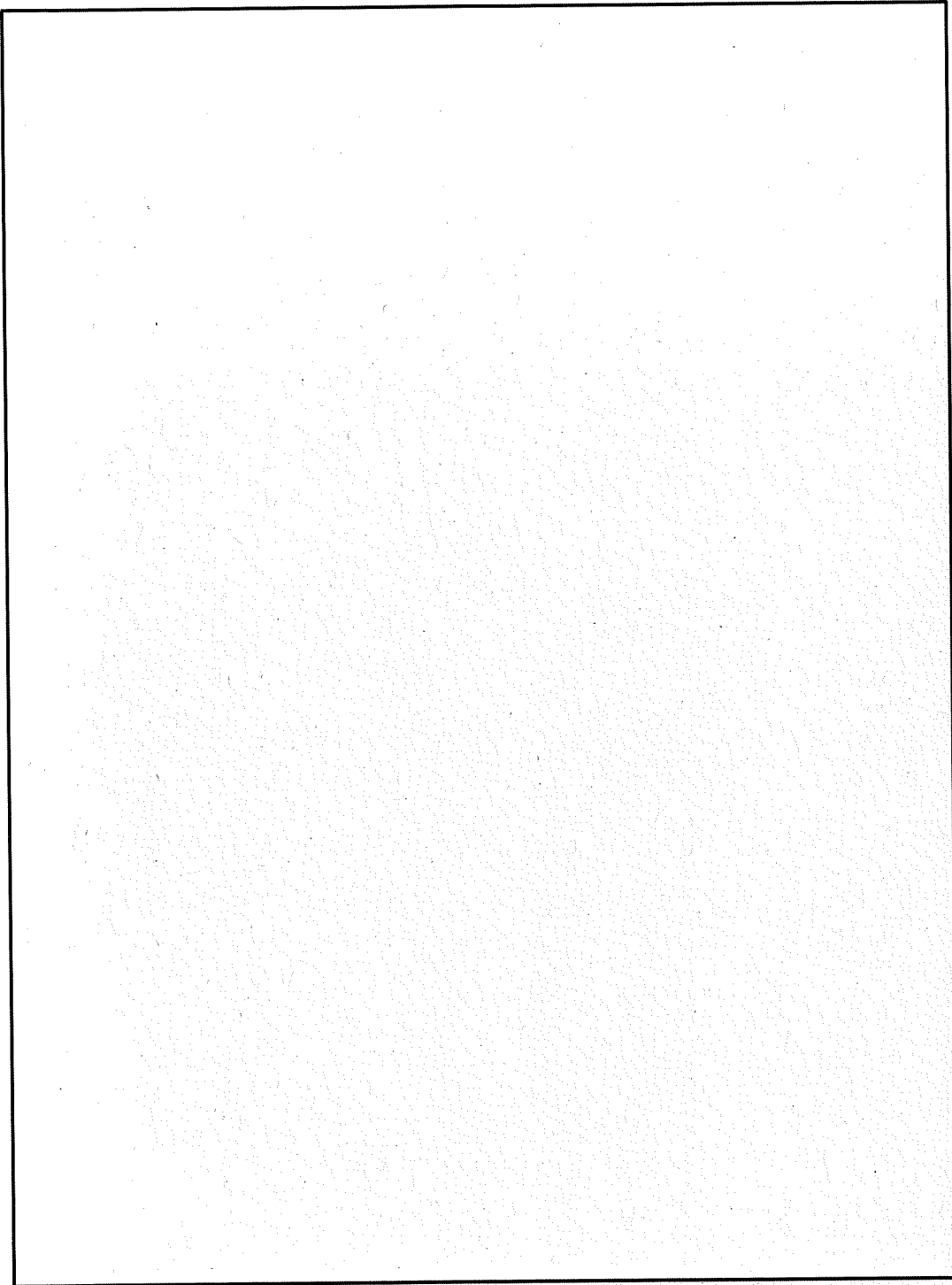


図 2-13 燃料集合体モデル要素分割図

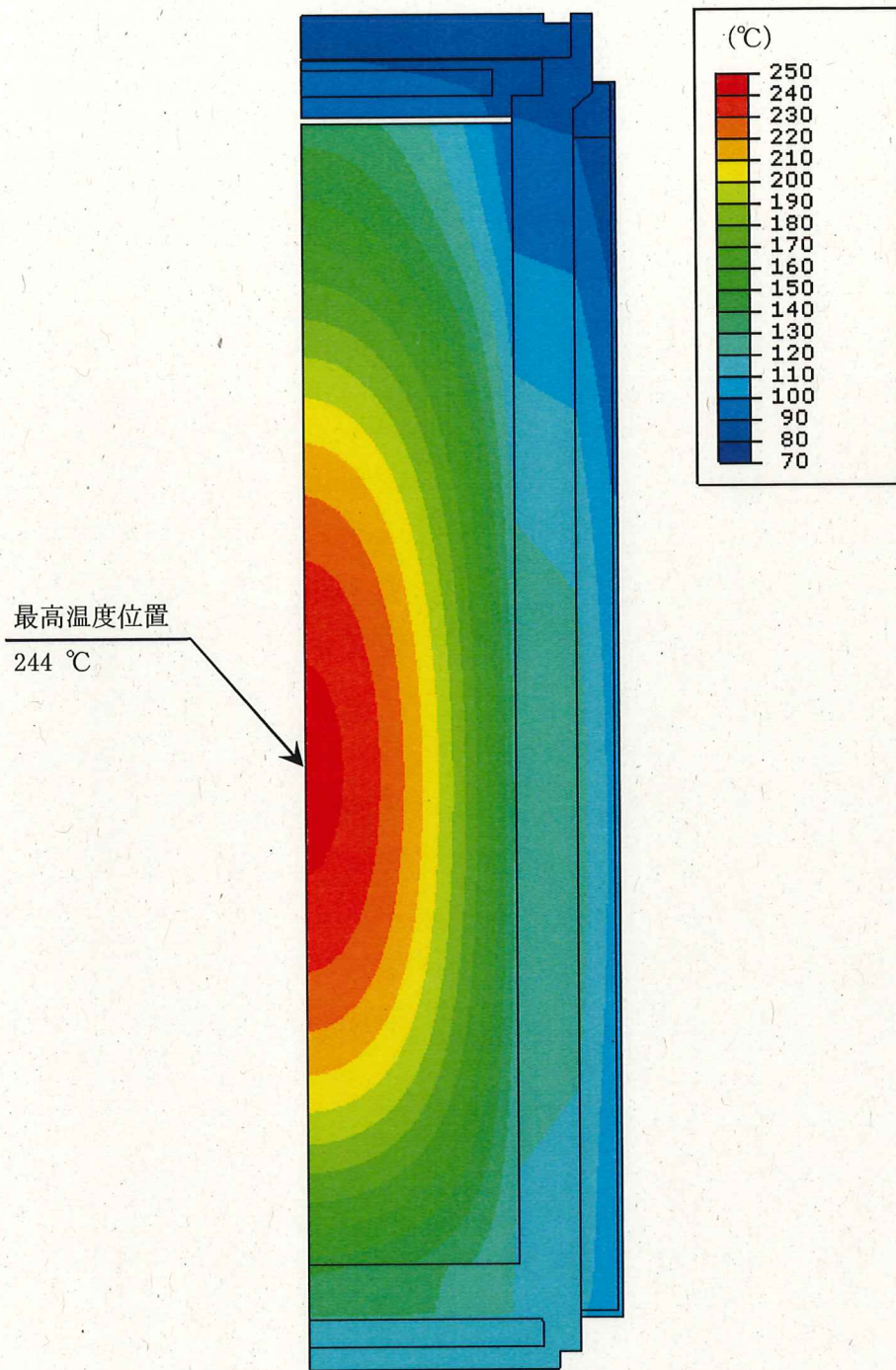


図 2-14 配置(i)の除熱解析結果 (全体モデル)

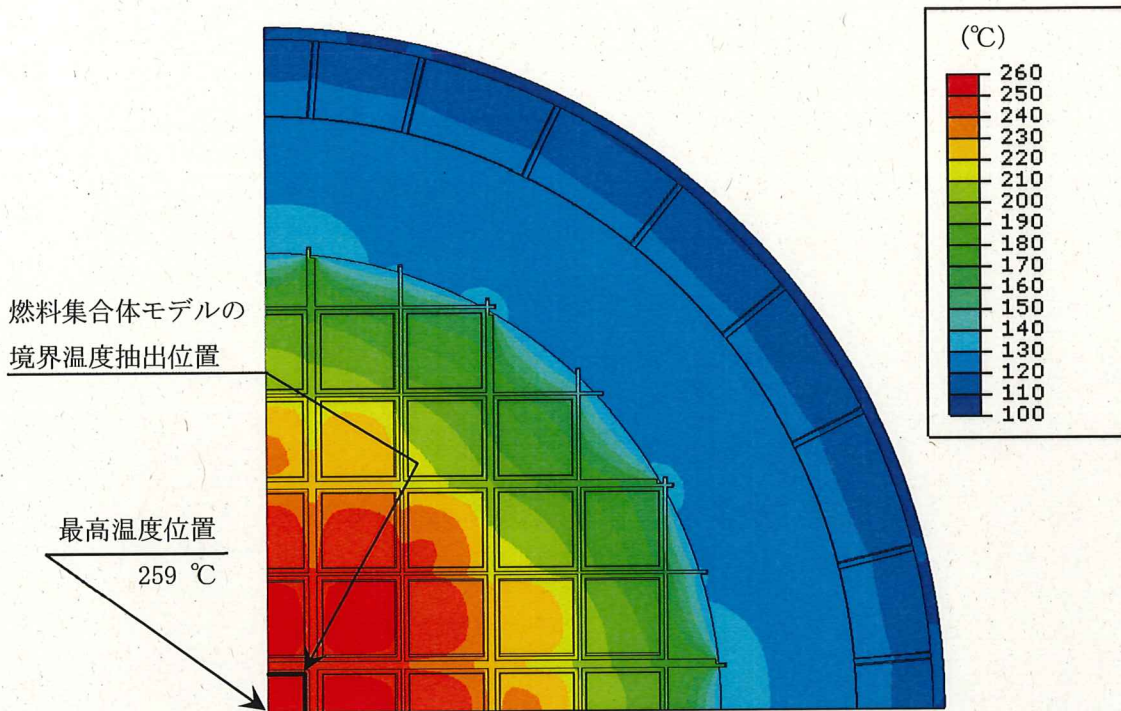


図 2-15 配置(i)の除熱解析結果 (輪切りモデル)

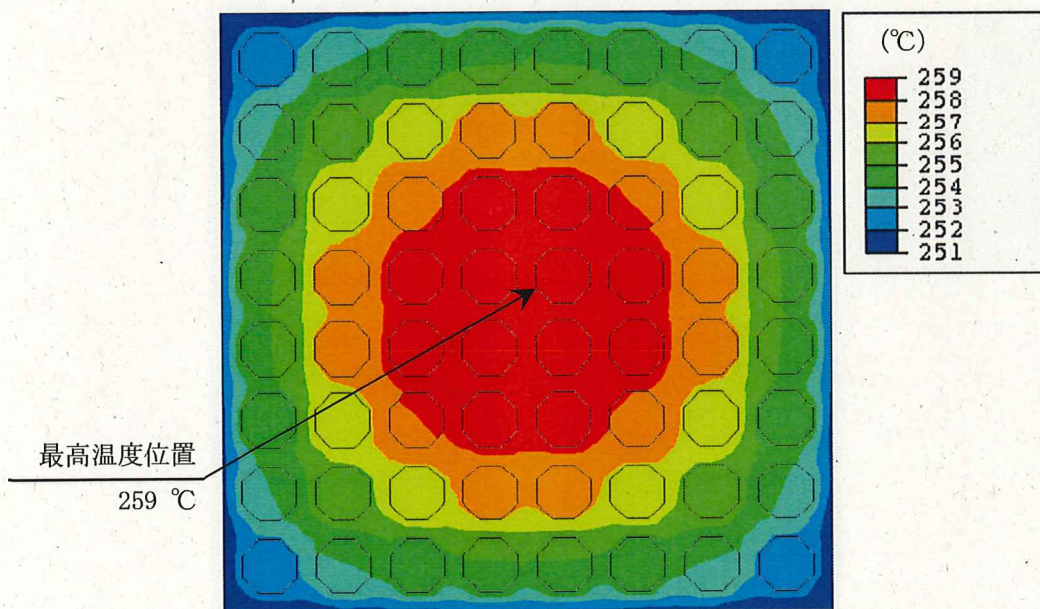


図 2-16 配置(i)の除熱解析結果 (燃料集合体モデル)

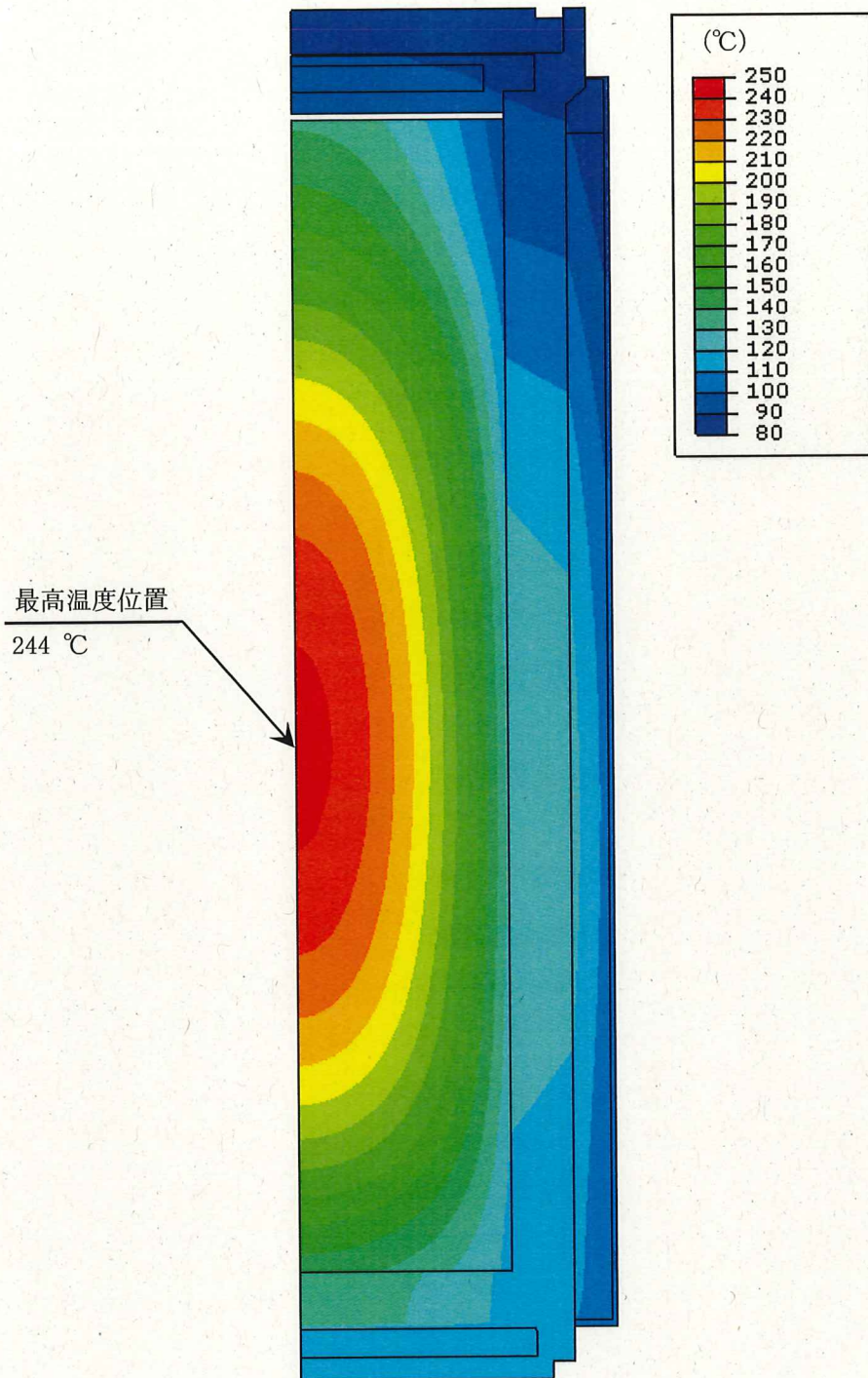


図 2-17 配置(ii)の除熱解析結果 (全体モデル)

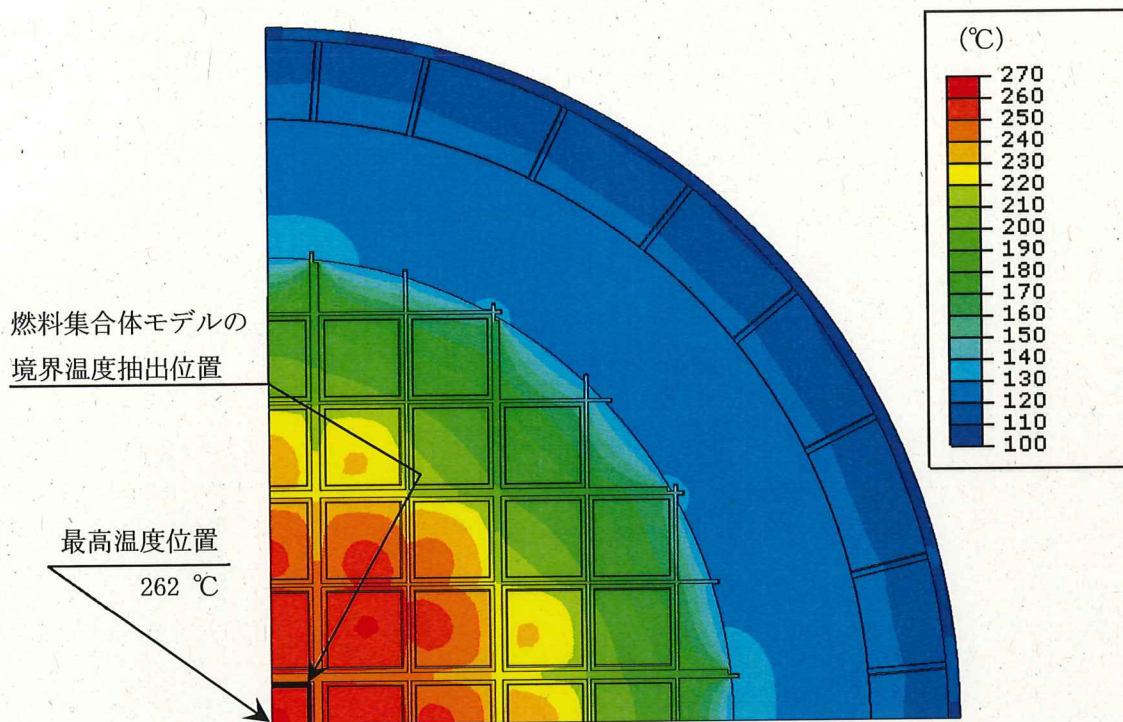


図 2-18 配置(ii)の除熱解析結果(輪切りモデル)

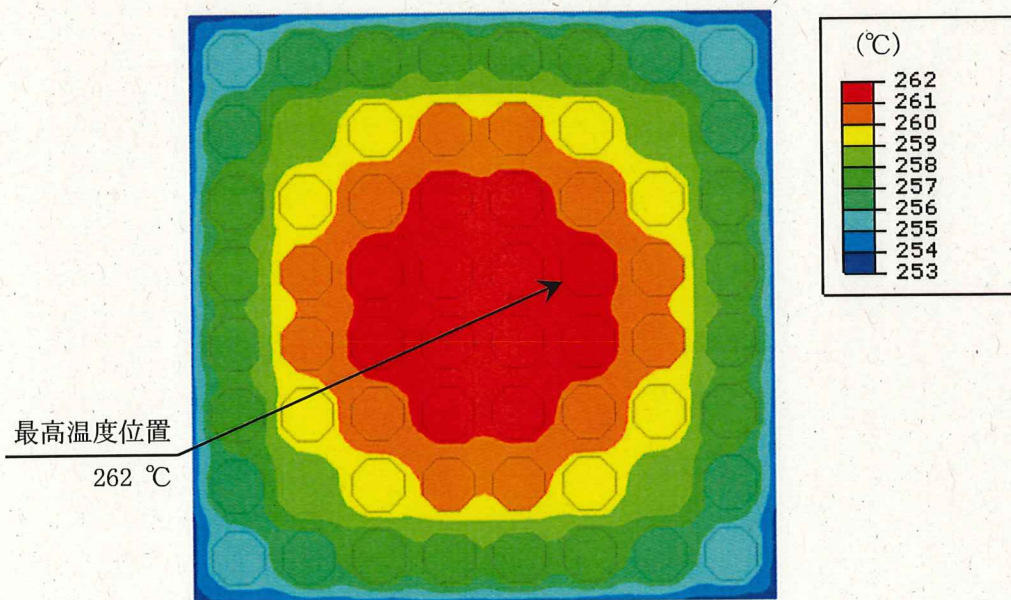


図 2-19 配置(ii)の除熱解析結果(燃料集合体モデル)

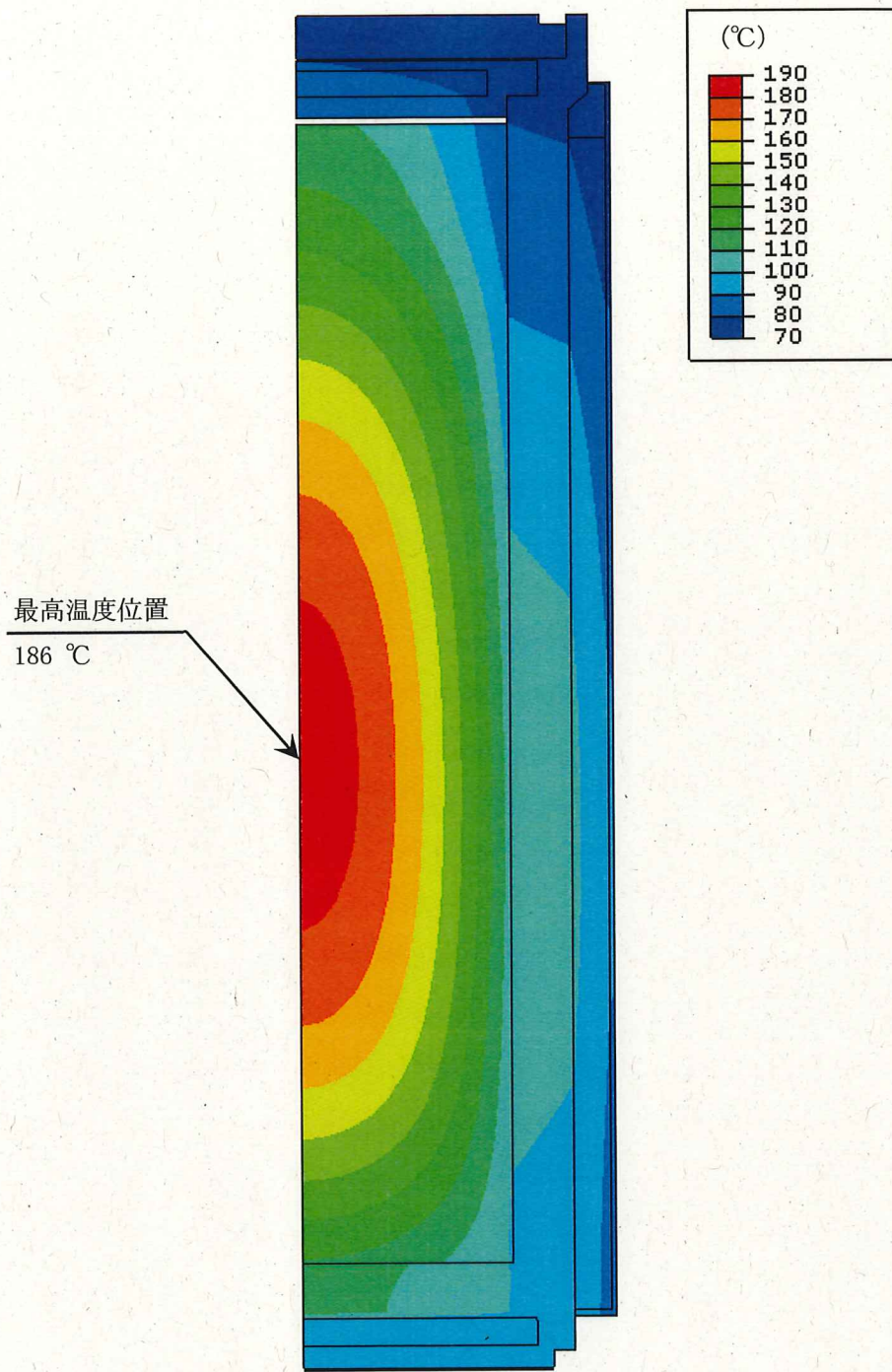


図 2-20 配置(iii)の除熱解析結果 (全体モデル)

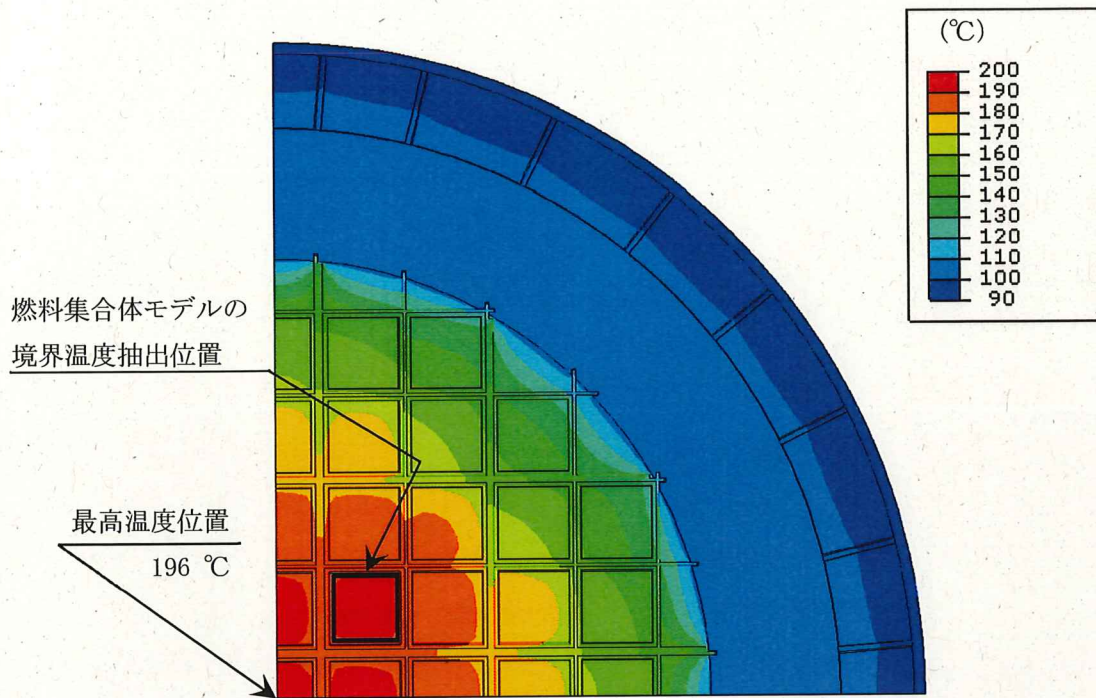


図 2-21 配置 (iii) の除熱解析結果 (輪切りモデル)

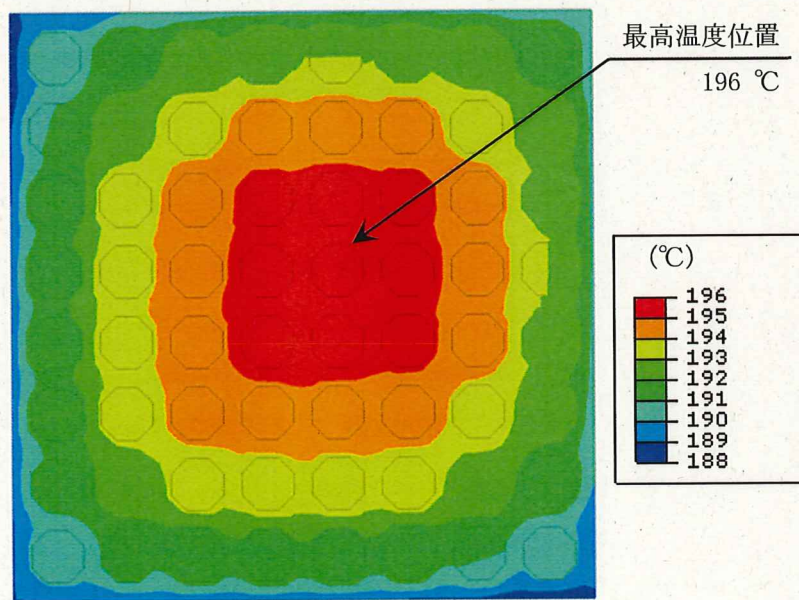


図 2-22 配置 (iii) の除熱解析結果 (燃料集合体モデル)

表 2-1 除熱機能の設計基準

対象となる部位		設計基準値 (°C)	設計基準値の考え方
燃料 被覆管	新型 8×8 ジルコニウムライナ 燃料	300 ⁽¹⁾⁽²⁾	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 下とした。
	高燃焼度 8×8 燃料		
	新型 8×8 燃料	200 ⁽¹⁾⁽²⁾	
金属 キャスク	胴、外筒及び蓋部	350 ⁽³⁾	(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 JSME S FA1-2007」 ⁽³⁾ (以下「金属キ ャスク構造規格」という。) で定めて いる温度範囲の上限値を設計基準 値と設定した。
	トランニオン	350 ⁽³⁾	
	中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	150 ⁽⁴⁾	樹脂開発メーカーの文献 ⁽⁴⁾ を参考に 遮蔽性能の健全性が維持される設 計基準値として 150 °Cを設定し た。 (ただし、熱による中性子遮蔽材 の重量減損が僅かに生じるため、 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	130 ⁽⁵⁾	長期密封性能試験 ⁽⁵⁾ で、130 °C～ 140 °C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、設計基準値として 130 °Cと 設定した。
	バスケットプレート (ほう素添加 ステンレス鋼)	300 ⁽⁶⁾	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 ⁽⁶⁾ で定めている温度範囲の 上限値を設計基準値と設定した。

表 2-2 使用済燃料の仕様

項目		仕様		
種類		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
形状	集合体幅 (mm)	約 132 又は約 134		
	全長 (mm)	約 4,350 又は約 4,470		
質量 (kg)		約 270		
初期濃縮度 (wt%)		3.1 以下	3.1 以下	3.7 以下
最高燃焼度*1 (MWd/t)		34,000 以下	40,000 以下	48,000 以下
最短冷却期間*2 (年)		28	18	18
収納体数 (体)		69		

注記*1：最高燃焼度とは、収納する使用済燃料 1 体の燃焼度の最大値を示す。

*2：最短冷却期間とは、収納する使用済燃料の最短の冷却期間を示す。

表 2-3 使用済燃料の崩壊熱量計算条件及び結果

使用済燃料の収納配置条件		配置 (i)			配置 (ii)		配置 (iii)
種類	計算条件	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	高燃焼度 8×8 燃料	配置 (iii)	
		平均燃焼度*1 (MWd/t)	34,000	34,000	40,000	40,000	29,000
最高燃焼度*2 (MWd/t)		40,000	40,000	—	48,000	34,000	
比出力 (MW/t)		25.3	26.2	25.3	26.2	25.3	
照射期間 (日)	燃料集合体 (平均燃焼度*1)	1,344	1,298	1,582	1,527	1,147	
	燃料集合体 (最高燃焼度*2)	1,582	1,527	—	1,833	1,344	
初期濃縮度*3 (%)		2.88	3.35	2.88	3.35	2.88	
冷却期間 (年)		18	18	22	22 / 20*4	28	
ウラン質量 (kg)		177	174	177	174	177	
ピーキングファクター		表 2-4	表 2-4	表 2-5	表 2-5	表 2-4	
	使用済燃料 1 体当たりの 崩壊熱量 (PF 考慮) (W)	211.8	201.3	207.4	211.6	143.2	
平均燃焼度		266.9	251.8	—	275.1	174.4	
最高燃焼度							
収納体数 (体)		69					
HDP-69B(B) 型 1 基当たりの設計崩壊熱量*5 (kW)		15.34		15.33		10.37	

注記*1：平均燃焼度とは、収納する全使用済燃料に対する使用済燃料の種類ごとの燃焼度の平均値を示す。

*2：最高燃焼度とは、収納する使用済燃料 1 体の燃焼度の最大値を示す。

*3：収納される使用済燃料の種類ごとの最小値を用いる。

*4：燃焼度 40,000 MWd/t 時の冷却期間は 22 年、燃焼度 48,000 MWd/t 時の冷却期間は 20 年である。

*5：除熱解析に用いる設計崩壊熱量算出時は、崩壊熱量計算結果に 5 % の保守性を考慮する。

表 2-4 使用済燃料の軸方向燃焼度分布 (配置(i)及び(iii))

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 燃料		
	34,000	40,000	34,000	40,000	29,000	34,000	29,000	34,000	
使用済燃料の 収納配置条件	配置(i)								
燃焼度 (MWd/t)	ノード*1	PF*2	ノード*1	PF*2	ノード*1	PF*2	ノード*1	PF*2	ノード*1
									PF*2
(上部)									
(下部)									

注記*1：ノードは燃料有効部を軸方向に□したものである。

*2：ピーキングファクター

□内は商業機密のため、非公開とします。

表 2-5 使用済燃料の軸方向燃焼度分布 (配置(ii))

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			
	配置(ii)					
使用済燃料の 収納配置条件						
燃焼度 (MWd/t)	40,000		40,000		48,000	
	ノード*1	PF*2	ノード*1	PF*2	ノード*1	PF*2
(上部)						
(下部)						

注記*1: ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

*2: ピーキングファクター

表 2-6 除熱解析結果

対象となる部位		評価結果 (°C)		設計基準値 (°C)
		最高温度	配置 (i) 配置 (ii)	
燃料 被覆管*1	新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料	262*2	259	300
	高燃焼度 8×8 燃料		262	
	新型 8×8 燃料	196*3	—	200
金属 キャスク	胴	135	135	350
			134	
	胴 (底板)	142	142	350
			139	
	外筒	113	113	350
			113	
	一次蓋	97	96	350
			97	
	二次蓋	86	85	350
			86	
	一次蓋ボルト	90	89	350
	90			
二次蓋ボルト	86	85	350	
		86		
中性子遮蔽材 (蓋部, 底部, 側部)	128*4	128*4	150	
		128*4		
金属ガスケット	90	89	130	
		90		
バスケットプレート (ほう素添加ステンレス鋼)	251	248	300	
		251		
トラニオン	120	120	350	
		118		

注記*1: 燃料棒の最高温度とした。なお、燃料棒には二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルコロイの体積割合を考慮して均質化した物性値を設定している。

*2: 照射硬化回復試験の結果、BWR 燃料では、約 270 °C では照射硬化の回復の可能性は小さいことが確認されている⁽⁷⁾。

*3: 配置(iii)における解析結果を示す。

*4: 蓋部、底部、側部中性子遮蔽材のうち、最も高い温度を示す。

除熱解析のモデル化及び解析条件について

1. 伝熱形態について

HDP-69B(B)型の伝熱形態を別紙 1-1 図に示す。

使用済燃料から発生した崩壊熱は、主に胴内に充填されたヘリウムガスの熱伝導とふく射によりチャンネルボックスに伝えられ、さらにチャンネルボックスからバスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられる。バスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられた熱は、主に熱伝導によりバスケットプレート端部に伝わり、さらにバスケットプレート端部からヘリウムガスの熱伝導とふく射により胴内面に伝えられる。続いて、胴内面に伝えられた熱は、熱伝導により金属キャスク表面に伝えられ、ふく射と空気の自然対流により金属キャスク周囲の大気に拡散される。なお、側部中性子遮蔽材領域では、主に炭素鋼及び銅製の伝熱フィンの熱伝導により熱が伝えられる。

2. 除熱解析のモデル化及び解析条件

除熱解析は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、有限要素法による伝熱解析コード(ABAQUS)を用いて行った。使用した解析モデルは以下の3つである。

・金属キャスク熱解析モデル

- ①軸方向全体モデル (以下「全体モデル」という。)
- ②径方向輪切りモデル (以下「輪切りモデル」という。)

・燃料被覆管熱解析モデル

- ③燃料集合体モデル

これら3つの解析モデルの入出力フローを別紙 1-2 図に示す。また、解析に使用する物性値を別紙 1-1 表及び別紙 1-2 表に、HDP-69B(B)型外表面の熱伝達率を別紙 1-3 表に、解析に使用する放射率を別紙 1-4 表に示す。

各解析モデルの概要及び解析条件を以下に示す。

(1) 全体モデル

全体モデルは、金属キャスク全体を二次元の軸対称体としてモデル化したものであり、蓋部及び底部の温度を評価するためのモデルである。全体モデルの形状図を別紙 1-3 図に示す。

全体モデルは二次元モデルであるため、収納物である使用済燃料及びバスケットは均質化して等価熱伝導率を設定した。側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンに関しても、これらを均質化して等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。

a. 燃料均質化領域の熱伝導率

(i) 径方向

使用済燃料及びバスケットが収納される領域（以下「燃料均質化領域」という。）の径方向熱伝導率は、内部発熱を伴う円柱の場合の式(1)を用いて計算した⁽¹⁾。

$$\lambda_{r1} = \frac{q \cdot R^2}{4(T_1 - T_2)} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、
 λ_{r1} : 燃料均質化領域の径方向等価熱伝導率 (W/(m・K))
 q : 単位体積発熱量 (W/m³)
 R : 燃料均質化領域外半径 (m)
 T_1 : 燃料均質化領域最高温度 (K)
 T_2 : 燃料均質化領域外面平均温度 (K)

輪切りモデルで軸方向を断熱条件とし、周囲環境温度を-25℃、38℃、100℃とした3ケースの予備解析により T_1 及び T_2 を求め、式(1)を用いて温度依存性のある λ_{r1} を設定した。なお、各ケースで求められる λ_{r1} の代表温度は、 T_1 と T_2 の平均値とした。

(ii) 軸方向

燃料均質化領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。

$$\lambda = \frac{\sum(V_i \cdot \lambda_i)}{V} \dots\dots\dots (2)$$

- ここで、
 λ : 等価熱伝導率 (W/(m・K))
 V_i : 各構成部材の体積 (m³)
 λ_i : 各構成部材の熱伝導率 (W/(m・K))
 V : 均質化した領域の体積 (m³)

このとき、バスケットの軸方向の材料不連続性を以下のように考慮した。

バスケットは菓子折り構造で上下のプレート同士は接触する構造だが、燃料均質化領域の軸方向熱伝導率の算出に当たっては、バスケットの製造公差を考慮して製造公差分のギャップによる非接触部を仮定した。具体的には、別紙1-4図に示すようにバスケットは直交しているプレートで構成されており、ギャップは軸方向に互い違いに生じることになるため、別紙1-5図に示すようにギャップを有した2つのプレートが並列にあるとして、製造公差の許容値に相当する最大ギャップを仮定してバスケットの軸方向熱伝導率を計算した⁽²⁾。この値を用いて、式(2)により燃料均質化領域の軸方向熱伝導率を計算した。

b. 側部中性子遮蔽材領域の熱伝導率

(i) 径方向

側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンのある領域(以下「側部中性子遮蔽材領域」という。)の径方向熱伝導率は、熱通過を伴う円筒の場合の式(3)を用いて計算した⁽¹⁾。

$$\lambda_{r2} = Q \times \frac{\ln(R_4/R_3)}{2\pi(T_3 - T_4)} \dots\dots\dots (3)$$

- ここで、
 λ_{r2} : 側部中性子遮蔽材領域の径方向等価熱伝導率 (W/(m・K))
Q : 軸方向単位長さ当たりの発熱量 (W/m)
 R_3 : 胴外面の半径 (m)
 R_4 : 外筒内面の半径 (m)
 T_3 : 胴外面の平均温度 (K)
 T_4 : 外筒内面の平均温度 (K)

輪切りモデルで軸方向を断熱条件とし、周囲環境温度を-25℃、38℃、100℃とした3ケースの予備解析により T_3 及び T_4 を求め、式(3)から温度依存性のある λ_{r2} を設定した。なお、各ケースで求められる λ_{r2} の代表温度は、 T_3 と T_4 の平均値とした。

(ii) 軸方向

側部中性子遮蔽材領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。

c. 解析条件

発熱条件として、軸方向の発熱分布を考慮した設計崩壊熱量となるように燃料有効部の発熱密度を設定した。

全体モデルの外部境界条件を別紙1-5表に示す。周囲温度を45℃、貯蔵建屋壁面温度を65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。なお、金属キャスク底面から貯蔵架台への伝熱は保守側に断熱とした。

(2) 輪切りモデル

輪切りモデルは、燃料集合体が最高温度となる金属キャスクの径方向断面を二次元でモデル化したものであり、中性子遮蔽材(側部)、胴、バスケット等の温度を評価するためのモデルである。輪切りモデルの形状図を別紙1-6図に示す。

燃料集合体は均質化して等価熱伝導率を設定した。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部に関しても、均質化して等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。

a. 燃料集合体領域の熱伝導率

燃料集合体が収納されるチャンネルボックス内面より内側の領域（以下「燃料集合体領域」という。）の熱伝導率は、円柱形状の内部発熱体の伝熱基礎式を基に正方形角柱形状に当てはめた以下の式(4)を用いて計算した。

$$\lambda_f = \frac{q W^2}{K(T_5 - T_6)} \dots\dots\dots (4)$$

- ここで、
 λ_f : 燃料集合体領域の等価熱伝導率 (W/(m・K))
 q : 軸方向燃焼度の最大領域における単位体積発熱量 (W/m³)
 W : 燃料集合体領域外形寸法 (m)
 K : 係数 (-) (別添 3 に算出過程を示す。)
 T_5 : 燃料棒最高温度 (K)
 T_6 : チャンネルボックス温度 (K)

燃料集合体モデルで軸方向を断熱条件とし、チャンネルボックス温度を 27 °C, 127 °C, 327 °C とした 3 ケースの予備解析により T_5 及び T_6 を求め、式(4)から温度依存性のある λ_f を設定した。なお、各ケースで求められる λ_f の代表温度は、 T_5 と T_6 の平均値とした。

b. バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率

バスケットプレート及び伝熱プレートは菓子折り構造により格子状となるように配置され、その交差部には切欠きを有する。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率には、この切欠きを考慮してモデル化したバスケットモデルによる予備解析から求められる等価熱伝導率を設定した。

c. 軸方向への熱移動

輪切りモデルでは、軸方向への熱移動がモデル化されないため実際より高温の結果を与える。そこで、全体モデルによる解析結果を用いて、以下の方法で軸方向への熱移動を考慮した。

(i) 外周部燃料領域の軸方向熱移動

外周部の 32 体の燃料集合体領域では、全体モデル解析における燃料均質化領域での軸方向熱移動量を差し引いた発熱密度を設定した。なお、中央部の 37 体の燃料集合体領域では、最高燃焼度の軸方向燃焼度最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定し、軸方向熱移動は考慮しない。

(ii) 胴内面～外筒外面の軸方向熱移動

全体モデル解析における胴内面から外筒外面の軸方向への熱移動量と一致するように、胴内面及び外筒外面に吸熱を与えた。このとき、胴内面及び外筒外面の温度が全体モデルの温度と一致するように吸熱量を調整した。

軸方向への熱移動に関する概念を別紙 1-7 図に示す。また、輪切りモデルの軸方向熱移動量の設定方法と温度分布の関係を別紙 1-8 図に示す。輪切りモデルにおける胴内面より内側の軸方向熱移動量は全体モデルを上回り、また、輪切りモデルの温度は全体モデルより保守的な温度となる。

輪切りモデルに設定した発熱条件を別紙 1-6 表、別紙 1-7 表及び別紙 1-8 表に、熱移動量を別紙 1-9 表、別紙 1-10 表及び別紙 1-11 表に示す。

d. 解析条件

輪切りモデルの外部環境条件を別紙 1-12 表に示す。周囲温度を 45 °C、貯蔵建屋壁面温度を 65 °C とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。

(3) 燃料集合体モデル

燃料集合体モデルは、燃料集合体の軸方向中央断面を二次元でモデル化したものであり、燃料被覆管の温度を評価するためのモデルである。燃料棒は正八角形でモデル化し、断面積等価となるように寸法を設定した。燃料集合体モデルの形状図を別紙 1-9 図及び別紙 1-10 図に示す。

a. 燃料棒の熱伝導率

燃料棒の熱伝導率は、二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルカロイの体積割合を考慮して式(2)により計算した。

b. 解析条件

発熱条件として、最高燃焼度燃料の PF 最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定した。また、伝熱形態として熱伝導及びふく射を考慮し、軸方向への伝熱を無視し断熱とした。境界条件は、輪切りモデル解析で最高温度となるチャンネルボックスの温度を設定した。

c. ふく射計算の手法

燃料棒の中心節点及びチャンネルボックスの節点に別紙 1-11 図に示すとおりふく射接続要素を設定し、6 種類のふく射接続を考慮した（別紙 1-12 図、別紙 1-13 図、

別紙 1-14 図)。この 6 ケースのふく射接続におけるふく射移動量は、伝熱解析コード (ABAQUS) コードにより下式にて考慮される。この式の入力条件となる燃料棒表面積、形態係数及び放射率は、別紙 1-13 表に示す値を用いた。なお、同表に示すとおりふく射計算に使用する燃料棒の表面積は、解析モデルとは異なり実燃料棒の表面積を設定した。

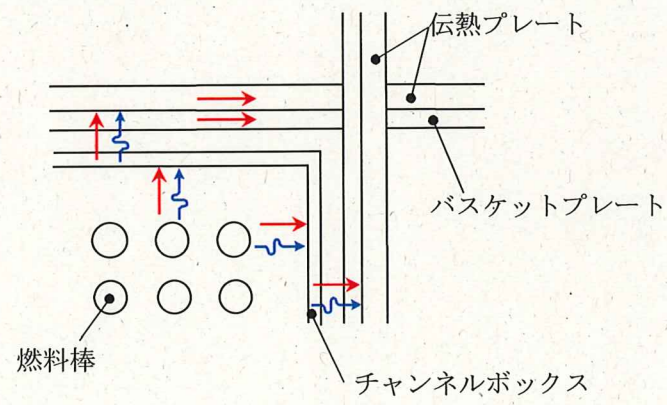
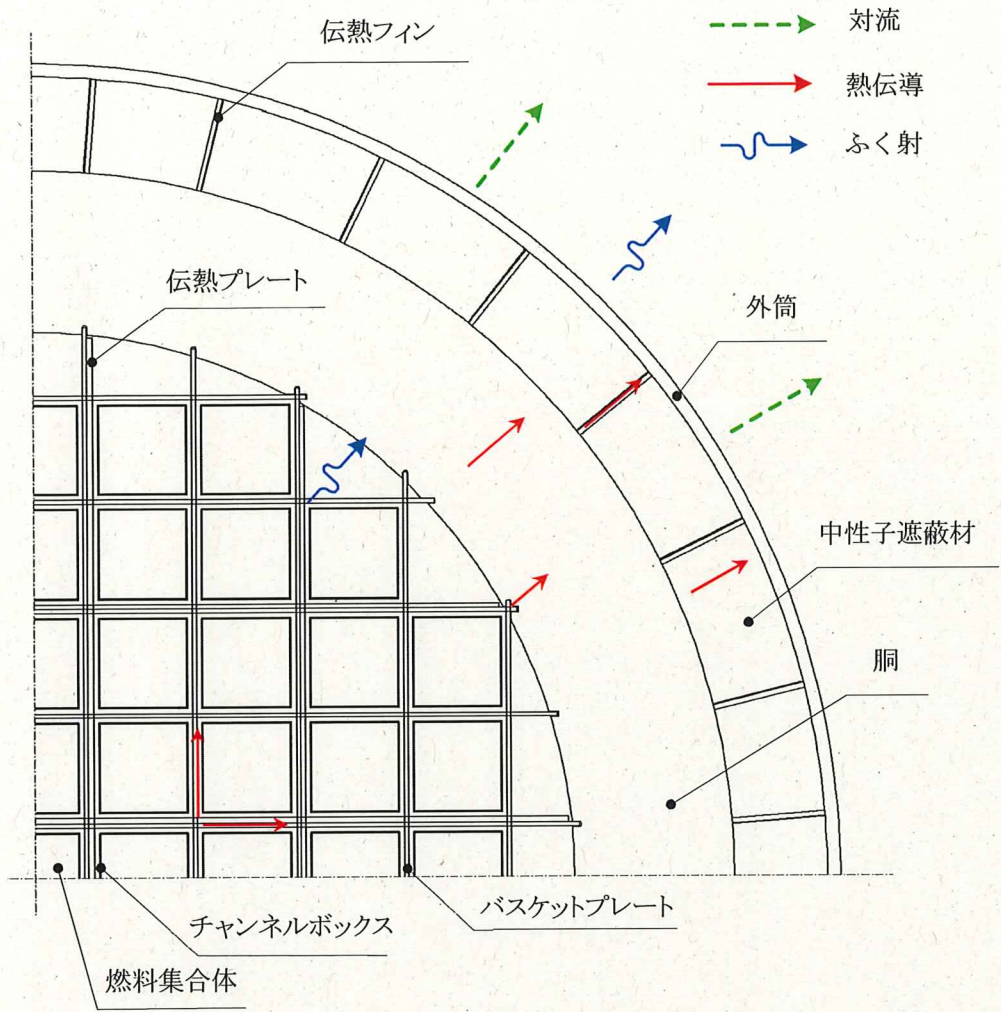
$$Q_r = F_\epsilon \cdot \sigma \cdot A (T_a^4 - T_b^4) \dots\dots\dots (5)$$

$$F_\epsilon = \frac{F_{ab}}{\frac{1}{\epsilon_a} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1} \dots\dots\dots (6)$$

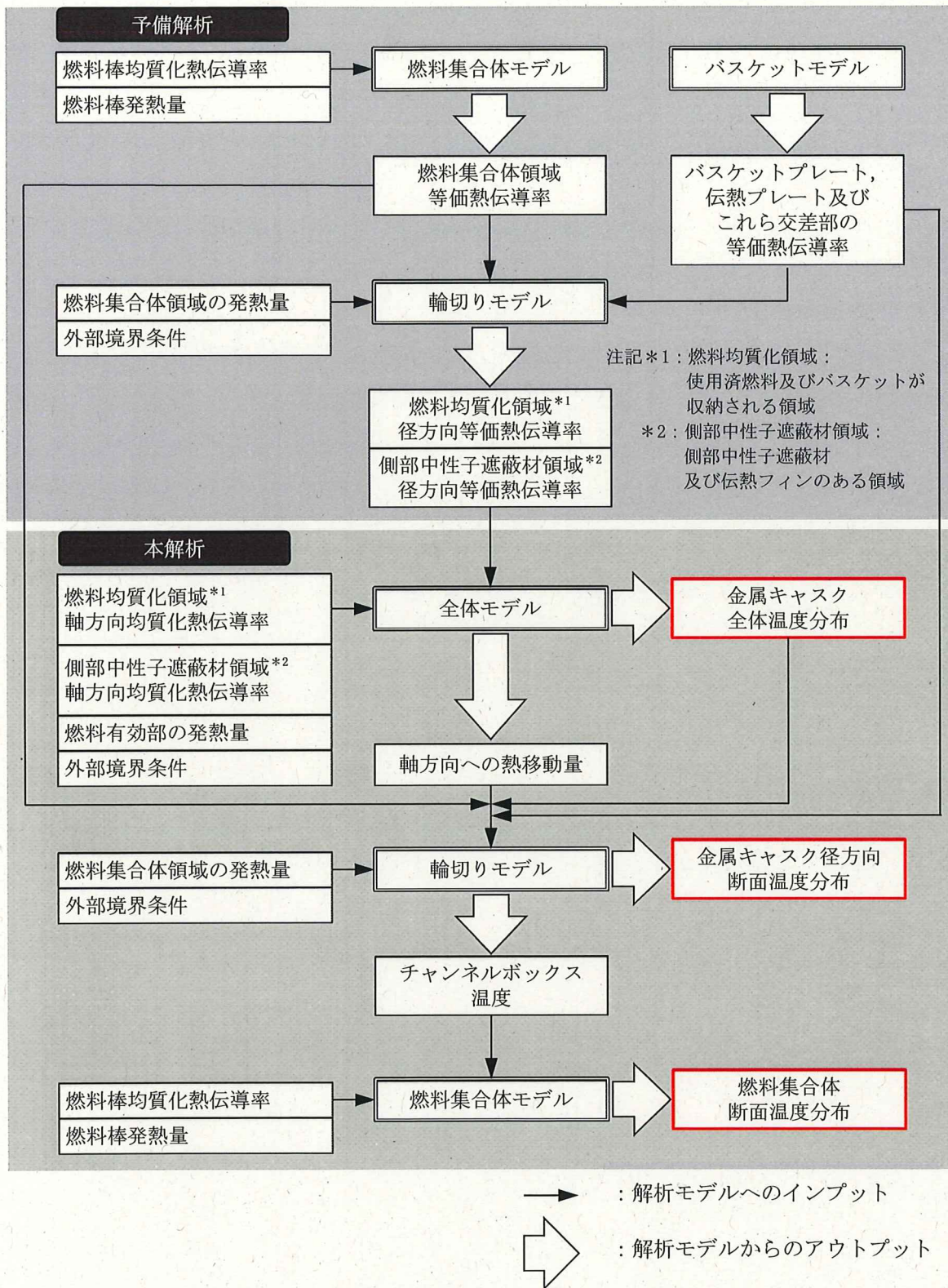
- ここで、
- Q_r : ふく射移動量 (W)
 - F_ϵ : 総括放射係数 (-)
 - σ : ステファン・ボルツマン係数 ((W・m²)/K⁴)
 - A : 燃料棒表面積 (m²)
 - T_a : 燃料棒 a の温度 (K)
 - T_b : 燃料棒 b の温度 (K)
 - F_{ab} : 燃料棒 a から燃料棒 b への形態係数 (-)
 - ϵ_a : 燃料棒 a の放射率 (-)
 - ϵ_b : 燃料棒 b の放射率 (-)

3. 参考文献

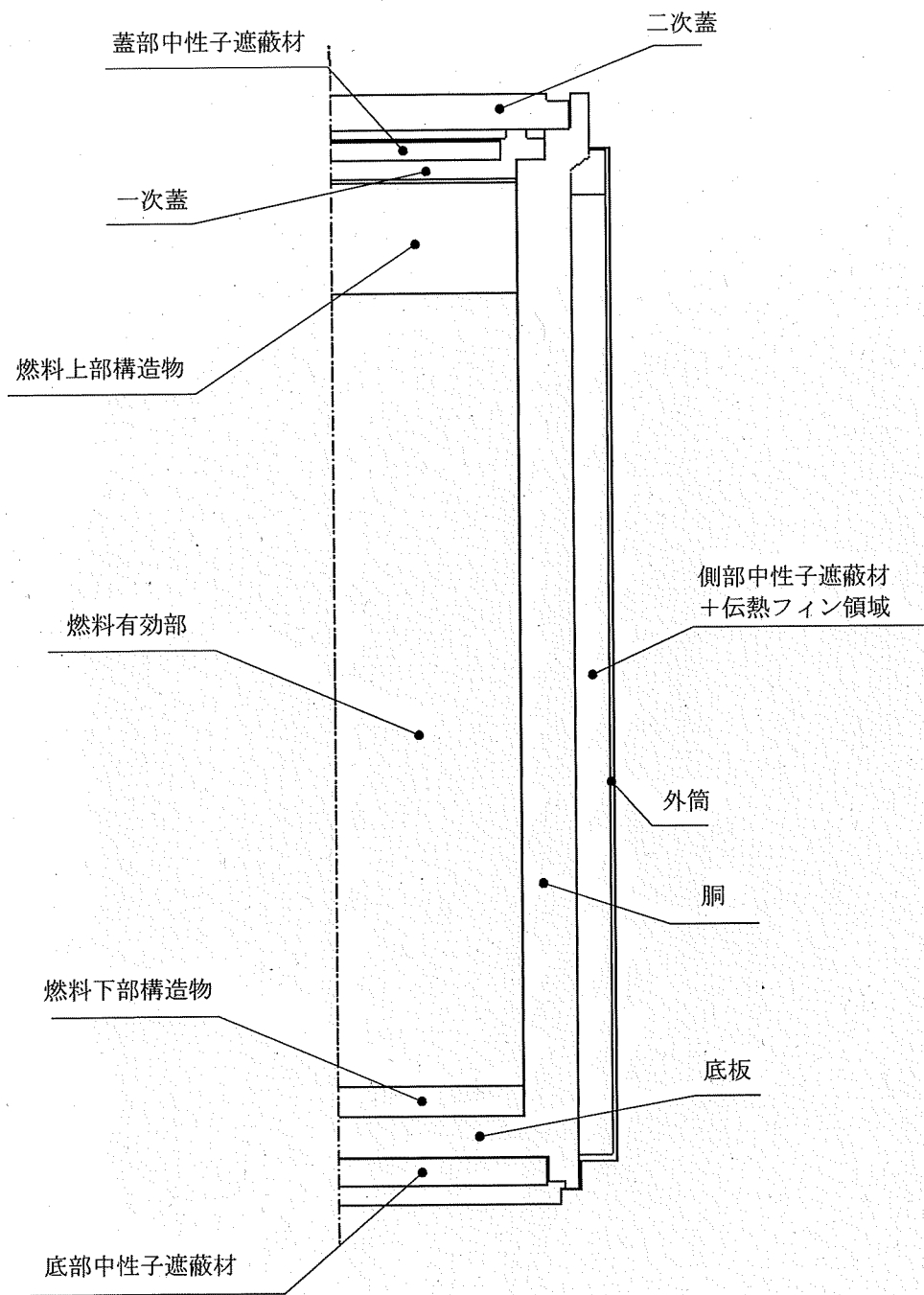
- (1) (一社)日本機械学会, 「伝熱ハンドブック」(1993), P. 6, 7
- (2) (一社)日本機械学会, 「JSME テキストシリーズ 伝熱工学 改訂第8版」(2012), P. 31
- (3) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第4版」(2003), P. 314, 317, 318, 328, 329
- (4) N. Kumagai, et al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc. 15th Int. Symp. on PATRAM(2007)
- (5) (一社)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)
- (6) (一社)日本原子力学会, 「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)」(2014年11月), P. 200, 201
- (7) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第3版」(1975), P. 148, 149
- (8) R. Shiegel, J. R. Howell, “THERMAL RADIATION HEAT TRANSFER Second Edition”, Hemisphere Publishing Corporation(1981), P. 828
- (9) D. L. Hagrman, et al., ” MATPRO-VERSION 11 A HANDBOOK OF MATERIALS PROPERTIES FOR USE IN THE ANALYSIS OF LIGHT WATER REACTOR FUEL ROD BEHAVIOR”, NUREG/CR-0497 TREE-1280 R3(1979)



別紙 1-1 図 伝熱形態図

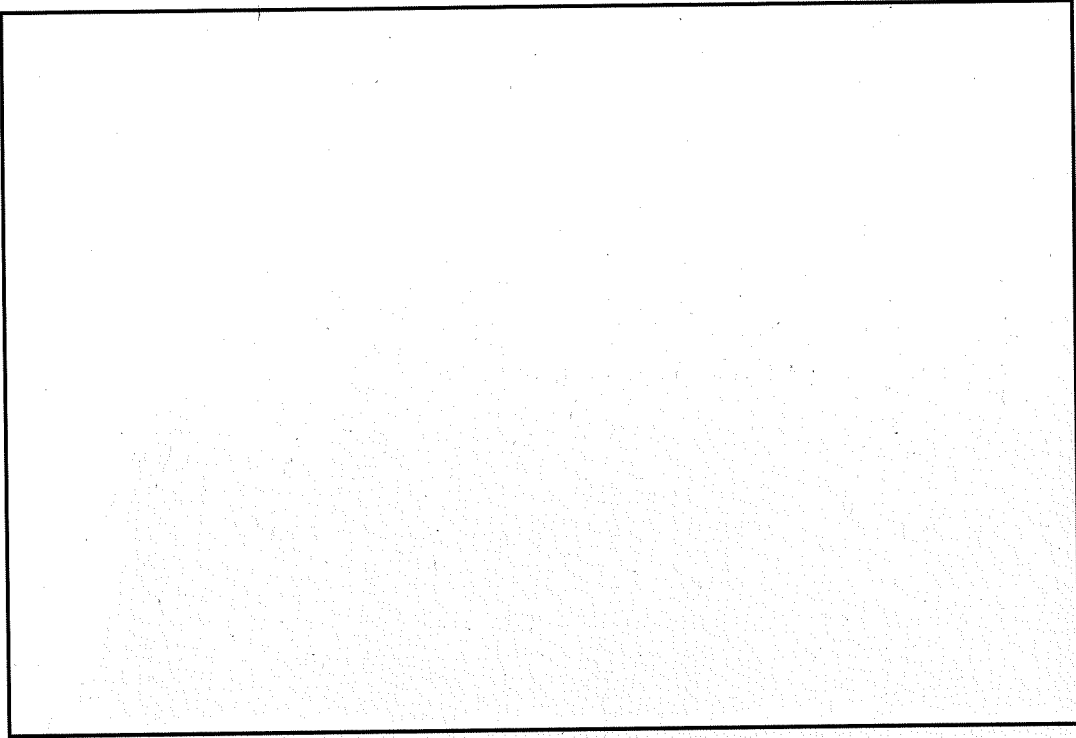


別紙 1-2 図 除熱解析モデルの入出力フロー図

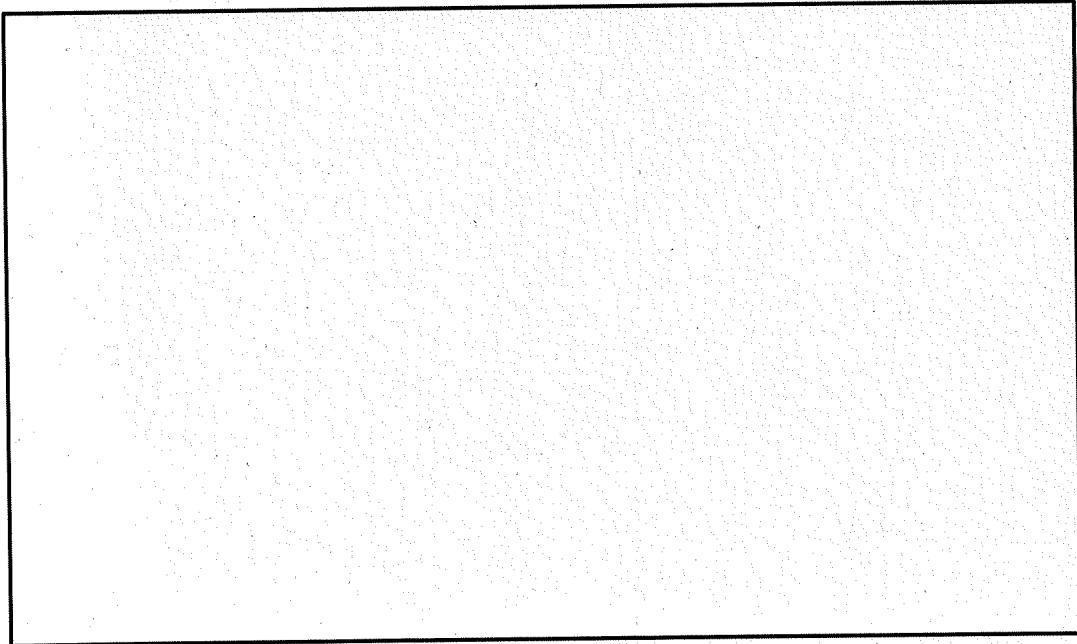


別紙 1-3 図 全体モデル形状図

別紙 1-10



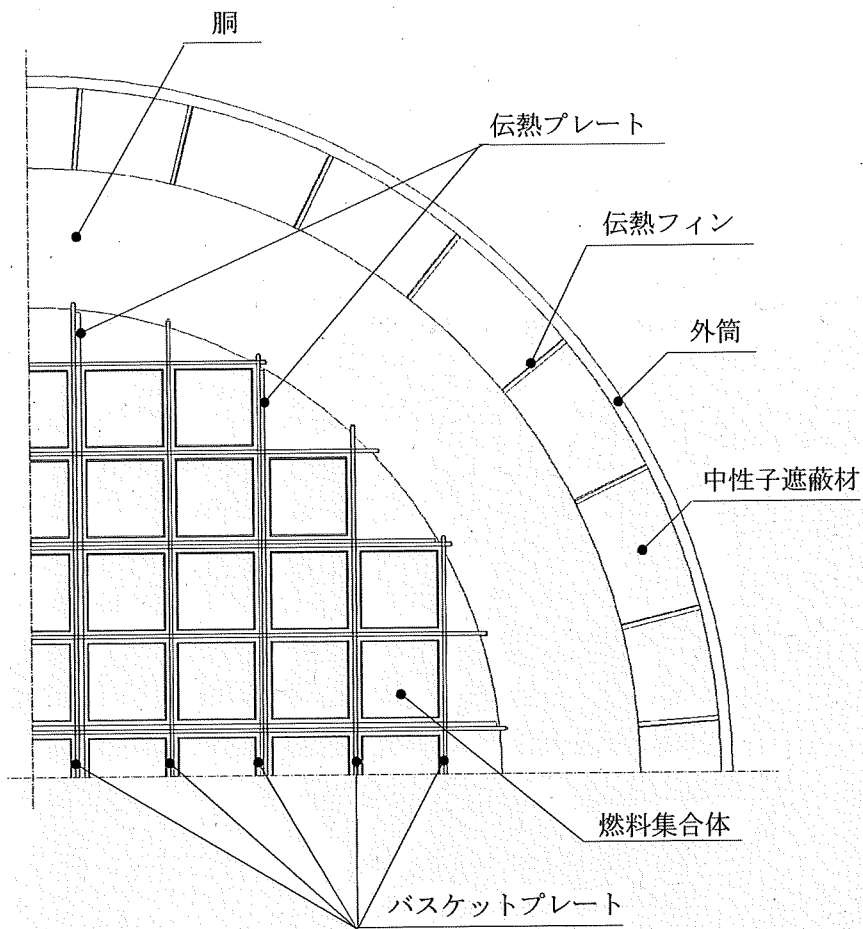
別紙 1-4 図 バスケットの構造



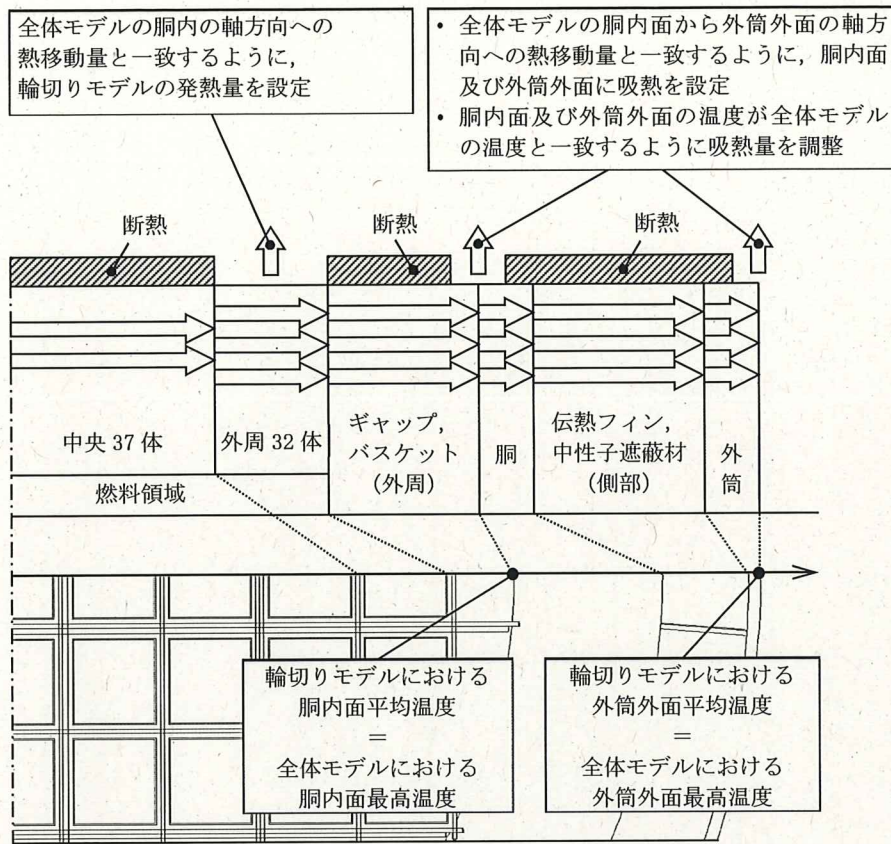
別紙 1-5 図 バスケットの軸方向等価熱伝導率の求め方

別紙 1-11

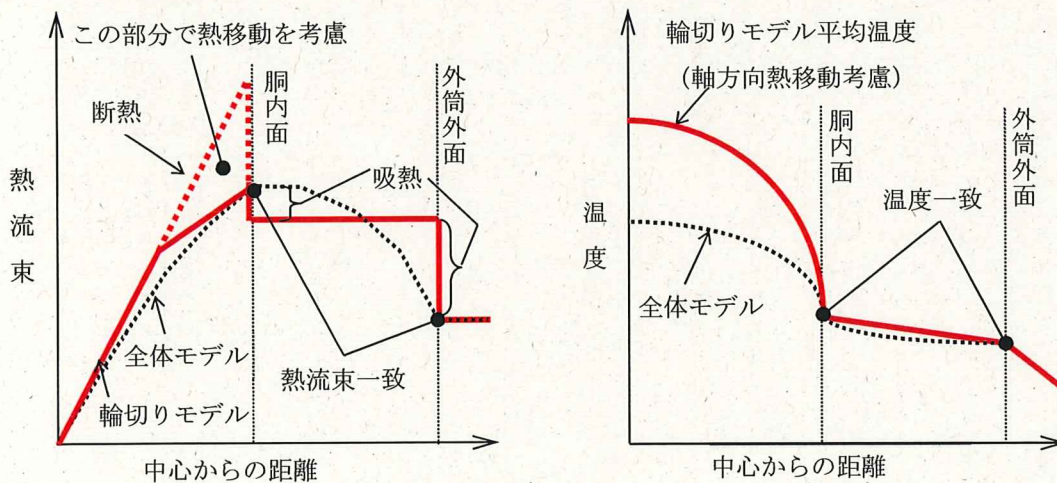
内は商業機密のため、非公開とします。



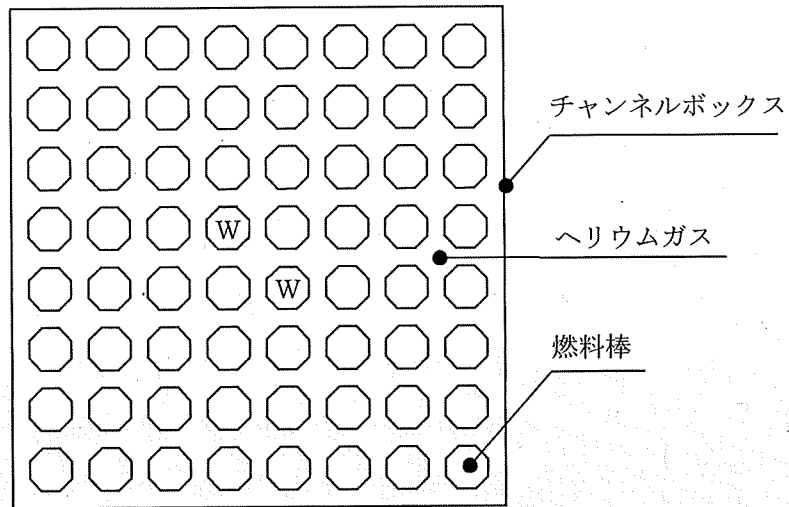
別紙 1-6 図 輪切りモデル形状図



別紙 1-7 図 輪切りモデルの軸方向熱移動モデル化概念図

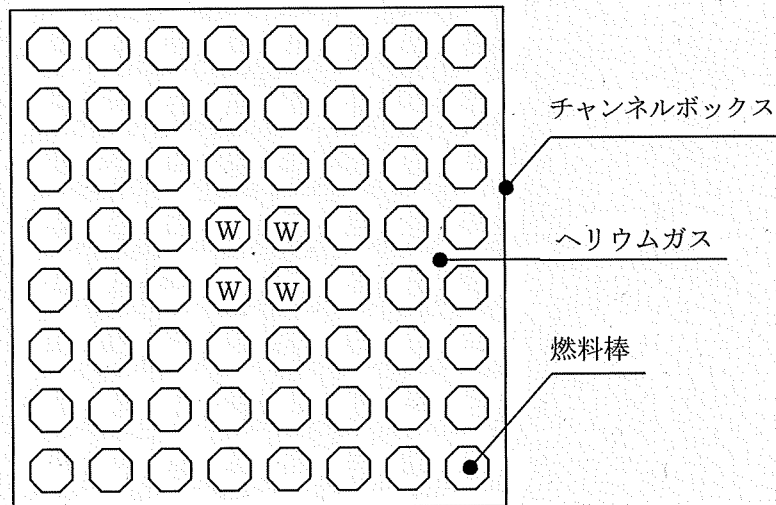


別紙 1-8 図 輪切りモデルの軸方向熱移動量の設定方法と温度分布の関係 (一次元的概念図)



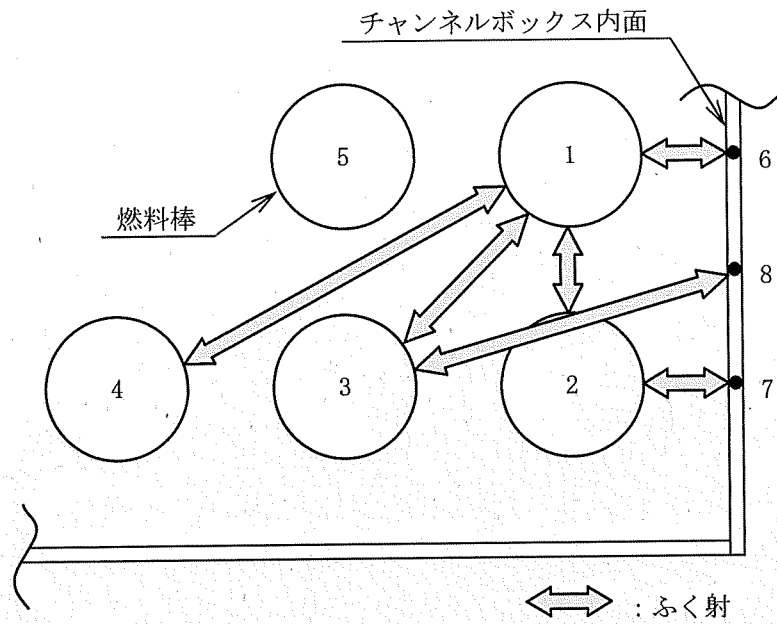
注記*1：Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

別紙 1-9 図 燃料集合体モデル形状図
(新型 8×8 燃料，新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の場合)

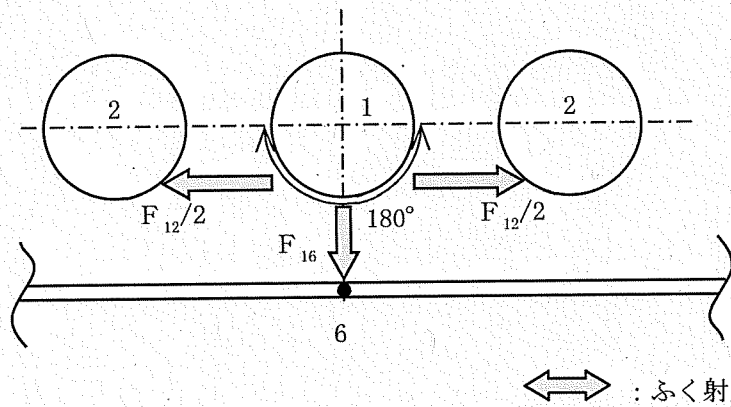


注記*1：Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

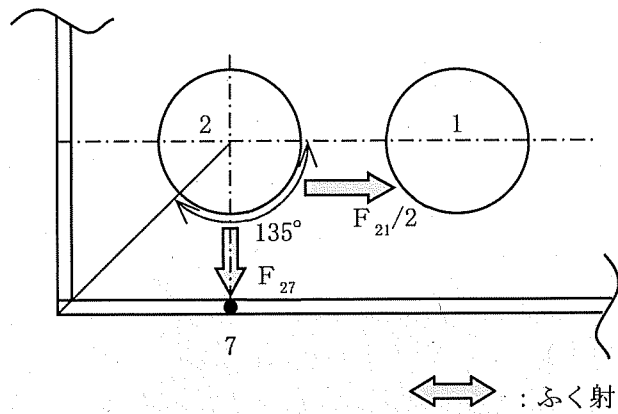
別紙 1-10 図 燃料集合体モデル形状図
(高燃焼度 8×8 燃料の場合)



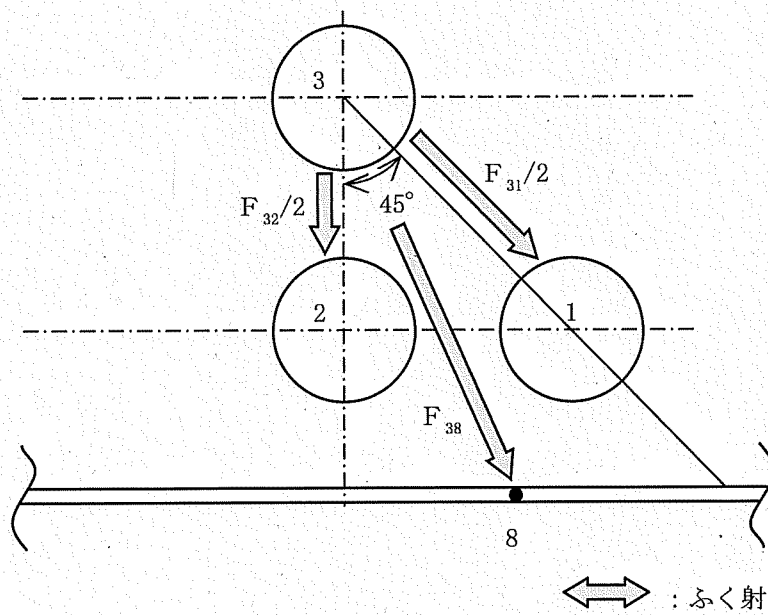
別紙 1-11 図 燃料集合体モデルのふく射接続の種類



別紙 1-12 図 燃料棒 1-チャンネルボックス 6 間の形態係数算出モデル



別紙 1-13 図 燃料棒 2-チャンネルボックス 7 間の形態係数算出モデル



別紙 1-14 図 燃料棒 3-チャンネルボックス 8 間の形態係数算出モデル

別紙 1-1 表 材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	熱伝導率 (W/(m・K))
胴 外筒 一次蓋 二次蓋	炭素鋼*1	26.85	43.0
		226.85	38.6
		526.85	27.7
蓋部中性子遮蔽材 底部中性子遮蔽材 側部中性子遮蔽材	樹脂*2	—	0.6
バスケットプレート	ほう素添加 ステンレス鋼*3	25	13.5
		50	13.9
		100	14.9
		150	15.8
		200	16.7
		250	17.6
		300	18.5
		350	19.4
伝熱プレート	アルミニウム合金*1	26.85	222
伝熱フィン	炭素鋼*1	26.85	43.0
		226.85	38.6
		526.85	27.7
	銅*1	26.85	398
		326.85	383
		526.85	371
内部気体	ヘリウム*1	26.85	0.1527
		126.85	0.1882
		226.85	0.2212
		326.85	0.2523
周囲気体	空気*1	26.85	0.02614
		126.85	0.03305
		226.85	0.03951

注記*1：参考文献(3)参照。

*2：使用する樹脂は、参考文献(4)に示すものである。

*3：使用するほう素添加ステンレス鋼は、参考文献(5)に示すものである。

別紙 1-2 表 均質化領域の物性値

解析モデル	均質化領域	温度 (°C)	熱伝導率 (W/(m・K))	
			径方向	軸方向
全体モデル	燃料均質化領域* ¹ (燃料ハンドル部)			
	燃料均質化領域* ¹ (燃料グリッド部)			
	燃料均質化領域* ¹ (燃料上部プレナム部)			
	燃料均質化領域* ¹ (燃料有効部)			
	燃料均質化領域* ¹ (燃料下部タイプレート部)			
	側部中性子遮蔽材領域* ²			
輪切りモデル	燃料集合体領域* ³			
燃料集合体モデル	燃料棒			

注記*1：使用済燃料及びバスケットが収納される領域。

*2：側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンのある領域。

*3：燃料集合体が収納されるチャンネルボックス内面より内側の領域。

別紙 1-3 表 HDP-69B(B)型外表面の熱伝達率

部位	形状	温度 (K)	温度 (°C)	熱伝達率*1 (W/(m ² ・K))
金属キャスク外表面 (側面)	垂直円筒	293.15	20	1.55 × Δ T ^{1/3}
		373.15	100	1.31 × Δ T ^{1/3}
		473.15	200	1.11 × Δ T ^{1/3}
金属キャスク外表面 (上面)	上向き水平平板	293.15	20	1.57 × Δ T ^{1/3}
		373.15	100	1.32 × Δ T ^{1/3}
		473.15	200	1.12 × Δ T ^{1/3}
金属キャスク外表面 (下部端板)	下向き水平平板	293.15	20	0.965 × Δ T ^{1/5}
		373.15	100	0.944 × Δ T ^{1/5}
		473.15	200	0.924 × Δ T ^{1/5}

注記*1：熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3} \quad (\text{垂直円筒})^{(6)}$$

$$h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3} \quad (\text{上向き水平平板})^{(6)}$$

$$h = 0.6 \frac{\lambda}{D} \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5} \quad (\text{下向き水平平板})^{(6)}$$

- ここで、 h : 熱伝達率 (W/(m²・K))
 λ : 熱伝導率 (W/(m・K))
 g : 重力加速度 (=9.80665 (m/s²))
 β : 体積膨張係数 (1/K)
 ΔT : 周囲空気と外表面の温度差 (K)
 ν : 動粘性係数 (m²/s)
 Pr : プラントル数 (-)
 D : 代表長さ (m)

別紙 1-4 表 材料の放射率

構成部材	材料	放射率*1
胴 (内面)	炭素鋼	0.055
一次蓋 (上面) 二次蓋 (下面)	炭素鋼	0.17
蓋部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	0.15
一次蓋 (下面)	炭素鋼	0.61
バスケットプレート	ほう素添加ステンレス鋼	0.15
伝熱プレート	アルミニウム合金	0.055
外筒 (外表面) 胴 (外表面) 二次蓋 (外表面) 貯蔵建屋壁面	塗装	0.8

注記*1: 参考文献(7)参照。塗装の設定根拠の詳細は別添1を参照。一次蓋(下面)では、金属ガスケット及び蓋部中性子遮蔽材温度を保守的に評価するため、酸化を考慮。また、胴(内面)では、燃料被覆管及びバスケット温度を保守的に評価するため、より小さな値を仮定。


別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件

項目	境界条件
周囲温度 (°C)	45
貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65
貯蔵建屋壁面放射率	0.8
金属キャスク表面放射率	0.8
金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232*1
金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)	別紙 1-3 表による
底部熱移動	断熱

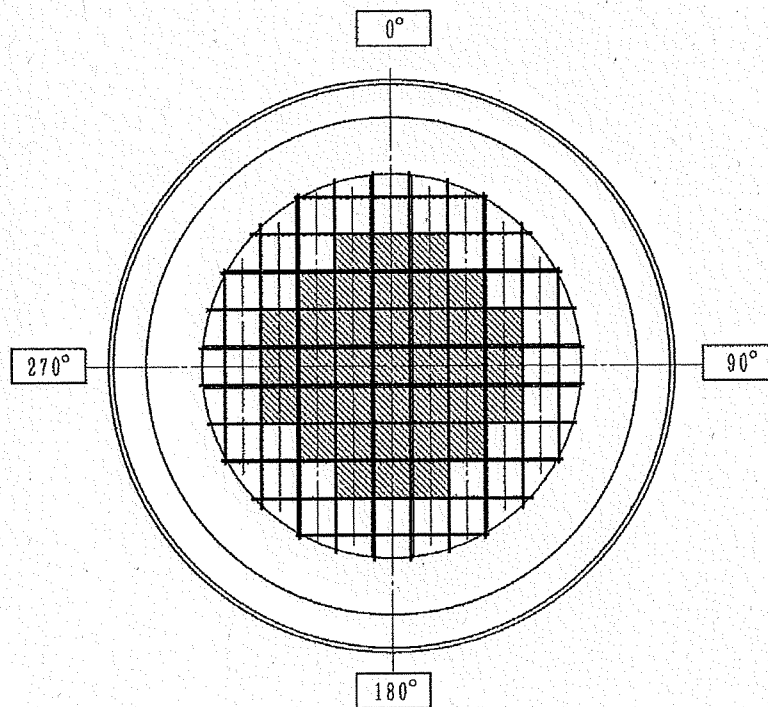
注記*1: 金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値。算出過程は別添2参照。



別紙 1-6 表 輪切りモデルの発熱条件 (配置 (i))

対象	収納体数 (体)	発熱量 (kW)* ¹	
		軸方向への 熱移動考慮前	軸方向への 熱移動考慮後
中央に収納される 使用済燃料	37	11.7	11.7
外周に収納される 使用済燃料	32	5.45	2.20
合計	69	17.1* ²	13.9

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 ( mm) の発熱量を、燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。なお、表中の値は端数処理した値であるため、合計値が一致しない場合がある。

*2: 輪切りモデルの評価対象断面は PF 最大領域であり、軸方向への熱移動考慮前における発熱量の合計値は設計発熱量 (15.34 kW) を上回る。



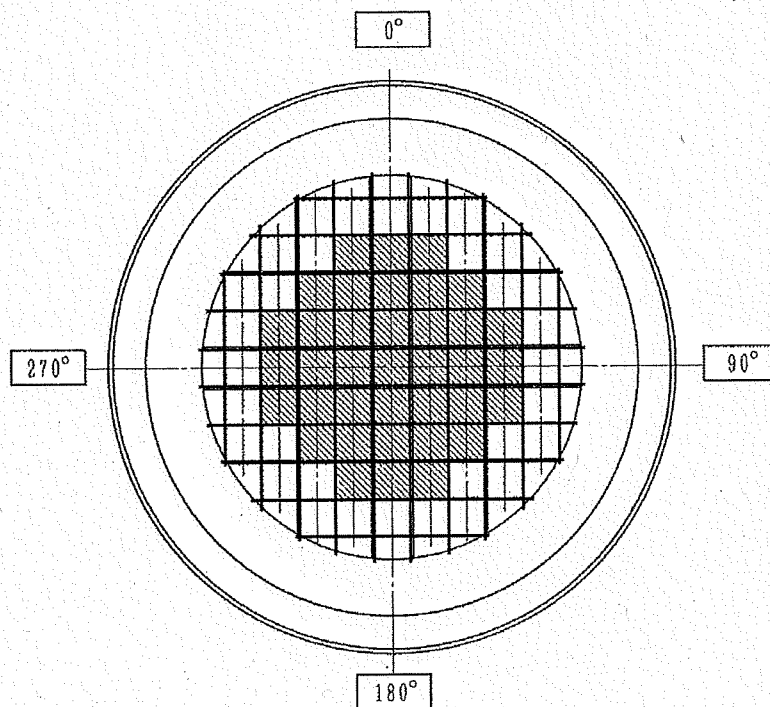
-  : 燃焼度 40,000 MWd/t に相当する発熱量。
-  : 発熱量の総量が、設計崩壊熱量 (燃焼度 34,000 MWd/t に相当する発熱量 69 体分) となるように調整した発熱量。軸方向への熱逃げを考慮することにより小さな値となる。

別紙 1-7 表 輪切りモデルの発熱条件 (配置(ii))

対象	収納体数 (体)	発熱量 (kW) *1	
		軸方向への 熱移動考慮前	軸方向への 熱移動考慮後
中央に収納される 使用済燃料	37	12.3	12.3
外周に収納される 使用済燃料	32	5.17	1.53
合計	69	17.5*2	13.8

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 (mm) の発熱量を、燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。なお、表中の値は端数処理した値であるため、合計値が一致しない場合がある。

*2: 輪切りモデルの評価対象断面は PF 最大領域であり、軸方向への熱移動考慮前における発熱量の合計値は設計発熱量 (15.33 kW) を上回る。



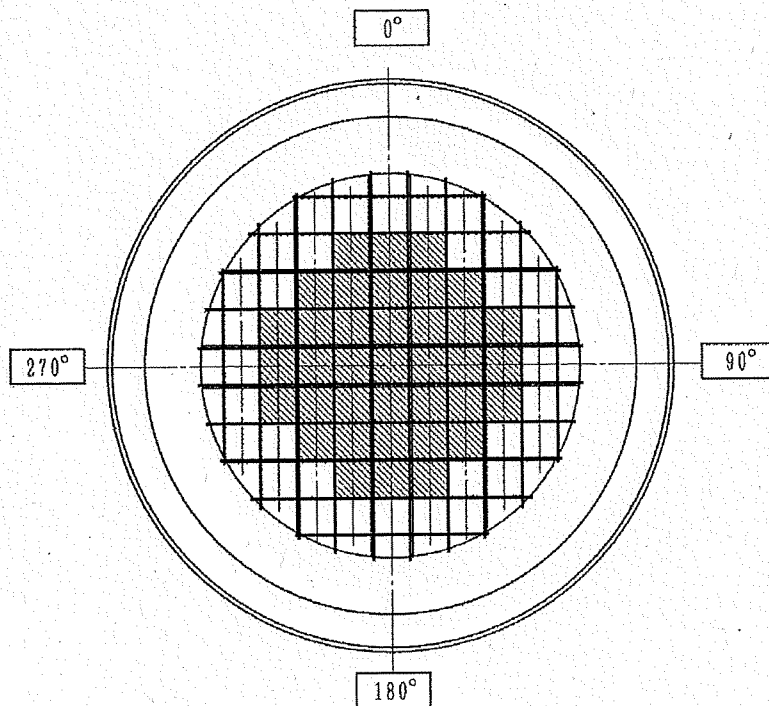
- : 燃焼度 48,000 MWd/t に相当する発熱量。
- : 発熱量の総量が、設計崩壊熱量 (燃焼度 40,000 MWd/t に相当する発熱量 69 体分) となるように調整した発熱量。軸方向への熱逃げを考慮することでより小さな値となる。

別紙 1-8 表 輪切りモデルの発熱条件 (配置(iii))

対象	収納体数 (体)	発熱量 (kW) *1	
		軸方向への 熱移動考慮前	軸方向への 熱移動考慮後
中央に収納される 使用済燃料	37	7.53	7.53
外周に収納される 使用済燃料	32	3.94	1.78
合計	69	11.5*2	9.30

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 (mm) の発熱量を、燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。なお、表中の値は端数処理した値であるため、合計値が一致しない場合がある。

*2: 輪切りモデルの評価対象断面は PF 最大領域であり、軸方向への熱移動考慮前における発熱量の合計値は設計発熱量 (10.37 kW) を上回る。



- : 燃焼度 34,000 MWd/t に相当する発熱量。
- : 発熱量の総量が、設計崩壊熱量 (燃焼度 29,000 MWd/t に相当する発熱量 69 体分) となるように調整した発熱量。軸方向への熱逃げを考慮することにより小さな値となる。

別紙 1-23

内は商業機密のため、非公開とします。

別紙 1-9 表 輪切りモデルにおける軸方向への熱移動量 (配置(i))

部位	軸方向への熱移動量 (kW)*1
中央に収納される 使用済燃料 (37 体)	0
外周に収納される 使用済燃料 (32 体)	3.26
胴	1.51
伝熱フィン, 中性子遮蔽材 (側部)	0
外筒	0.58

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 (mm)
の熱移動量を燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。

別紙 1-10 表 輪切りモデルにおける軸方向への熱移動量 (配置(ii))

部位	軸方向への熱移動量 (kW)*1
中央に収納される 使用済燃料 (37 体)	0
外周に収納される 使用済燃料 (32 体)	3.63
胴	1.55
伝熱フィン, 中性子遮蔽材 (側部)	0
外筒	0.58

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 (mm)
の熱移動量を燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。

別紙 1-11 表 輪切りモデルにおける軸方向への熱移動量 (配置(iii))

部位	軸方向への熱移動量 (kW)*1
中央に収納される 使用済燃料 (37 体)	0
外周に収納される 使用済燃料 (32 体)	2.16
胴	0.79
伝熱フィン, 中性子遮蔽材 (側部)	0
外筒	0.55

注記*1: 輪切りモデルの評価対象断面である PF 最大領域 (mm)
の熱移動量を燃料有効長 (3,708 mm) 当たりに換算した値。

別紙 1-12 表 輪切りモデルの境界条件

項目	境界条件
周囲温度 (°C)	45
貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65
貯蔵建屋壁面放射率	0.8
金属キャスク表面放射率	0.8
金属キャスク表面から貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232 ^{*1}
金属キャスク表面熱伝達率 (側面)	別紙 1-3 表による。

注記*1：金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値。算出過程は別添 2 参照。

別紙 1-13 表 燃料集合体モデルにおけるふく射計算入力条件

No.	接続ケース*1			燃料棒 a の 表面積 (mm ² /mm) *3	形態係数	放射率	
	記号	燃料棒(a)	燃料棒(b) CB*2(b)			燃料棒(a)*7	燃料棒(b) CB*2(b)*7
1	F ₁₂	燃料棒(1)	燃料棒(2)		0.128*4	0.8	0.8
2	F ₁₃	燃料棒(1)	燃料棒(3)		0.0860*5	0.8	0.8
3	F ₁₄	燃料棒(1)	燃料棒(4)		0.0133*5	0.8	0.8
4	F ₁₆	燃料棒(1)	CB(6)		0.372*6	0.8	0.8
5	F ₂₇	燃料棒(2)	CB(7)		0.311*6	0.8	0.8
6	F ₃₈	燃料棒(3)	CB(8)		0.0180*6	0.8	0.8

注記*1：別紙 1-11 図参照。

*2：CB はチャンネルボックス。

*3：単位長さ (1 mm) 当たりの燃料棒の表面積 (燃料棒外径 mm)。

*4：平行に配置された円柱 A₁, A₂ 間の放射形態係数の式⁽⁸⁾より算出。

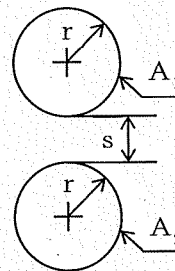
$$F_{12} = F_{21} = \frac{1}{\pi} \left(\sqrt{X^2 - 1} + \sin^{-1} \left(\frac{1}{X} \right) - X \right)$$

ここで,

$$X = 1 + \frac{s}{2r} = \boxed{}$$

したがって,

$$F_{12} = F_{21} = \frac{1}{\pi} \left(\boxed{} \right) = 0.128$$



*5：伝熱解析コード(ABAQUS)により算出。

*6：下式より算出。

$$F_{16} = F_{61} = \frac{180^\circ}{360^\circ} - F_{12} = 0.5 - 0.128 = 0.372 \quad (\text{別紙 1-12 図参照})$$

$$F_{27} = F_{72} = \frac{135^\circ}{360^\circ} - F_{12}/2 = 0.375 - 0.128/2 = 0.311 \quad (\text{別紙 1-13 図参照})$$

$$F_{38} = F_{83} = \frac{45^\circ}{360^\circ} - F_{32}/2 - F_{31}/2 = 0.125 - 0.128/2 - 0.0860/2 = 0.0180 \quad (\text{別紙 1-14 図参照})$$

*7：ジルカロイの放射率として参考文献(9)より 0.8 とした。

塗装の放射率設定根拠

「別紙 1-4 表 材料の放射率」において塗装に適用した放射率 0.8 は、参考文献(3)に示された塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値である。その設定の根拠を以下に示す。

「別紙 1-4 表 材料の放射率」のうち、放射率 0.8 が設定されている構成部材は、外筒（外表面）、胴（外表面）、二次蓋（外表面）並びに貯蔵建屋壁面である。これら構成部材の放射率に係る文献値及び解析入力値を別添 1-1 表に示す。また、HDP-69B(B)型の表面の塗装に使用予定である の塗装の放射率の実測値を別添 1-1 表に併せて示す。解析に適用した放射率（解析入力値）は、貯蔵建屋壁面の仕様が制約とならないように、コンクリートに比べて放射率がより小さい塗装を代表して適用することとし、塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値 0.8 とした。解析入力値は放射率の実測値より小さく、HDP-69B(B)型の内部の温度をより高く評価する観点から保守的な設定である。

別添 1-1 表 塗装の放射率設定

構成部材	仕様	放射率		
		文献値	解析入力値	実測値
外筒（外表面） 胴（外表面） 二次蓋（外表面）	塗装	0.7~0.9 ⁽³⁾	0.8	0.84 ^{*1}
貯蔵建屋壁面	コンクリート	0.94 ⁽³⁾		—

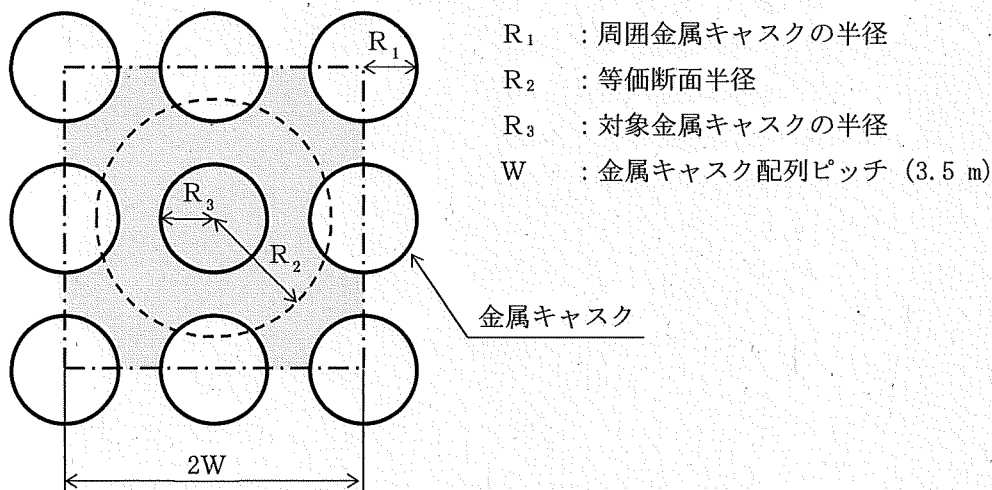
注記*1：HDP-69B(B)型の表面に使用予定である塗料の実測値。

形態係数の算出過程

「別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件」及び「別紙 1-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は、金属キャスク側面から貯蔵建屋の天井及び床面への形態係数として求めた。以下に、この形態係数の算出過程を示す。

はじめに、別添 2-1 図の金属キャスクの貯蔵配置に示すように、中心に配置された対象金属キャスクの周囲の金属キャスクで囲まれた空間（一辺が $2W$ の正方形の空間）のうち、周囲の金属キャスクを除く面積（別添 2-1 図の灰色のエリア）の等価断面半径 R_2 を式 (1) で求めた。

$$R_2 = \sqrt{4W^2/\pi - 3R_1^2} \dots\dots\dots (1)$$



別添 2-1 図 金属キャスクの貯蔵配置

金属キャスク表面から貯蔵建屋内壁面への形態係数は、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」の附属書 AT に基づき、円環フィン形状の形態係数を求める式から算出した。算出式及び各ふく射面の定義をそれぞれ式 (2) から式 (5) 及び別添 2-2 図に示す。ここで、金属キャスク長さを L とし、 b に R_3 を、 a に R_2 を、 c に L を代入して、2 面から 3 面への形態係数 F_{23} を求めた。形態係数の算出条件及び結果を別添 2-1 表に示す。

以上より、「別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件」及び「別紙 1-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は、別添 2-1 表の 2 面から 3 面への形態係数 F_{23} の 0.232 である。

$$\begin{cases} A_n \cdot F_{nk} = A_k \cdot F_{kn} \\ \sum_n F_{kn} = 1.0 \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

n = 1, 2, 3, ...M

ここで, A_n : n面の面積 (m²)

F_{kn} : k面よりn面への形態係数 (-)

$$F_{12} = \frac{1}{X} - \frac{1}{\pi X} \left[\cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Y} \left\{ \sqrt{(A+2)^2 - (2X)^2} \cos^{-1} \left(\frac{B}{XA} \right) + B \sin^{-1} \left(\frac{1}{X} \right) - \frac{\pi A}{2} \right\} \right] \dots\dots (3)$$

$$F_{11} = 1 - \frac{1}{X} + \frac{2}{\pi X} \tan^{-1} \left(\frac{2\sqrt{X^2-1}}{Y} \right) - \frac{Y}{2\pi X} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} \sin^{-1} \left\{ \frac{4(X^2-1) + (Y^2/X^2)(X^2-2)}{Y^2+4(X^2-1)} \right\} \right] \dots\dots (4)$$

$$- \frac{Y}{2\pi X} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} \sin^{-1} \left\{ \frac{4(X^2-1) + (Y^2/X^2)(X^2-2)}{Y^2+4(X^2-1)} \right\} \right]$$

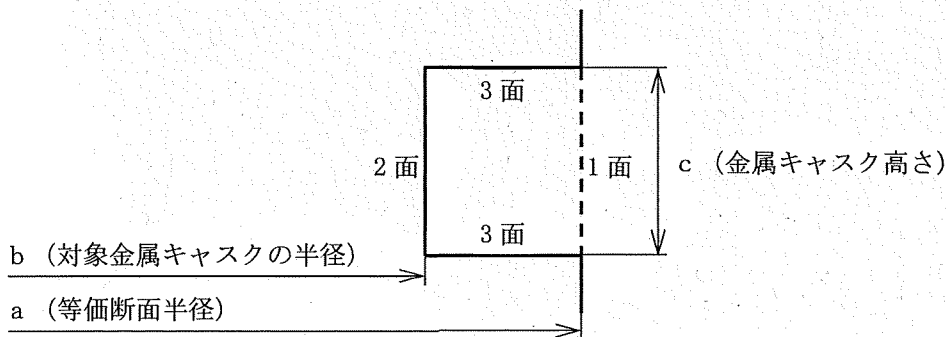
$$F_{13} = 1 - F_{12} - F_{11} \dots\dots\dots (5)$$

ここで, $X = a/b$

$Y = c/b$

$A = X^2 + Y^2 - 1$

$B = Y^2 - X^2 + 1$



別添 2-2 図 各ふく射面の定義

別添 2-1 表 形態係数の算出条件及び結果

算出条件	形状 (m)	R_1	1.325
		a (R_2)	3.214
		b (R_3)	1.250
		c (L)	5.607
		W	3.50
	係数 (-)	X	2.57
		Y	4.49
		A	25.73
		B	14.51
算出結果	形態係数 (-)	F_{12}	0.298
		F_{21}	0.767
		F_{23}	0.232

燃料集合体領域の等価熱伝導率算出式中の係数Kについて

燃料集合体領域の等価熱伝導率 λ_f は、以下の式(1)を用いて計算する。

$$\lambda_f = \frac{q W^2}{K(T_5 - T_6)} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、 λ_f : 燃料集合体領域の等価熱伝導率 (W/(m·K))
 q : 軸方向燃焼度の最大領域における単位体積発熱量 (W/m³)
 W : 燃料集合体領域外形寸法 (m)
 K : 係数 (-)
 T_5 : 燃料棒最高温度 (K)
 T_6 : チャンネルボックス温度 (K)

以下で、式(1)中の係数Kについてその算出過程を示す。

矩形内部が一様の熱伝導率 k 、発熱密度 q で、境界温度が0 Kの場合 (別添 3-1 図) の理論解は、式(2)で得られる*1。

$$\frac{\theta(x, y)}{u''' L^2 / k} = 0.29469 \dots\dots\dots (2)$$

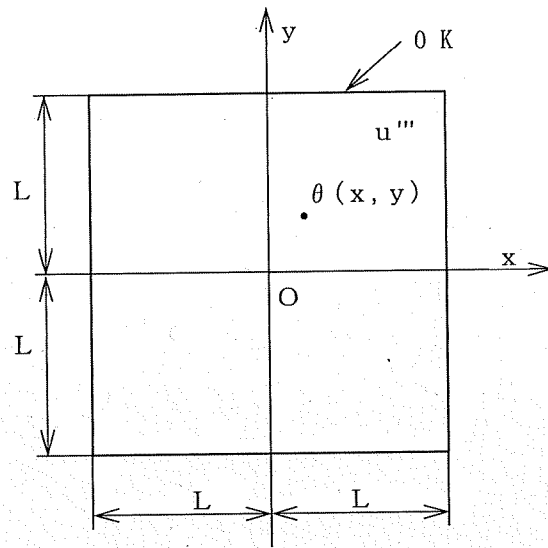
- ここで、 $\theta(x, y)$: 矩形内部の温度 (K)
 u''' : 矩形内部の発熱密度 (W/m³)
 L : 矩形長さ (m)
 k : 矩形内部の熱伝導率 (W/(m·K))

$\theta(x=0, y=0) = T_5 - T_6$, $u''' = q$, $2L = W$, $k = \lambda_f$ とすると、

$$\frac{\theta(x, y)}{u''' L^2 / k} = \frac{4(T_5 - T_6)}{q W^2 / \lambda_f} = \frac{4}{K} \dots\dots\dots (3)$$

したがって、 $K = 4/0.29469 = 13.57$ となる。

注記*1: Vedat S. Arpaci, "CONDUCTION HEAT TRANSFER", ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY (1966), P. 219, 220, 465



別添 3-1 図 矩形内部温度分布理論モデル

二次元除熱解析モデルの妥当性について

HDP-69B(B)型の除熱解析で用いた二次元の輪切りモデルと全体モデルを組み合わせた解析手法（以下「2Dモデル」という。）の妥当性を確認するため、HDP-69B(B)型の三次元モデル（以下「3Dモデル」という。）を用いた除熱解析を行い、2Dモデルと3Dモデルの除熱解析結果を比較する。

1. 3Dモデルの概要

3Dモデル図を別紙2-1図に示す。3Dモデルは、バスケットプレート及び伝熱プレート均質化することなくモデル化し、燃料集合体は1体ずつ燃料集合体領域（チャンネルボックス内面より内側の領域）を直方体形状で均質化してモデル化している。このため、3Dモデルは実形状に即した軸方向及び径方向への熱移動を評価できるモデルとなっている。ただし、トラニオンや蓋ボルト等の除熱解析の評価結果に大きな影響を与えないと考えられる部位はモデル化を省略している。3Dモデルと2Dモデルの各部位のモデル化方針の比較を別紙2-1表に示す。また、3Dモデルによる2Dモデルの妥当性確認フロー図を別紙2-2図に示す。

2. 解析条件

3Dモデル及び2Dモデルを用いた除熱解析の条件の比較を別紙2-2表に示す。発熱条件は2Dモデルの配置(i)の条件とする。

3. 解析結果

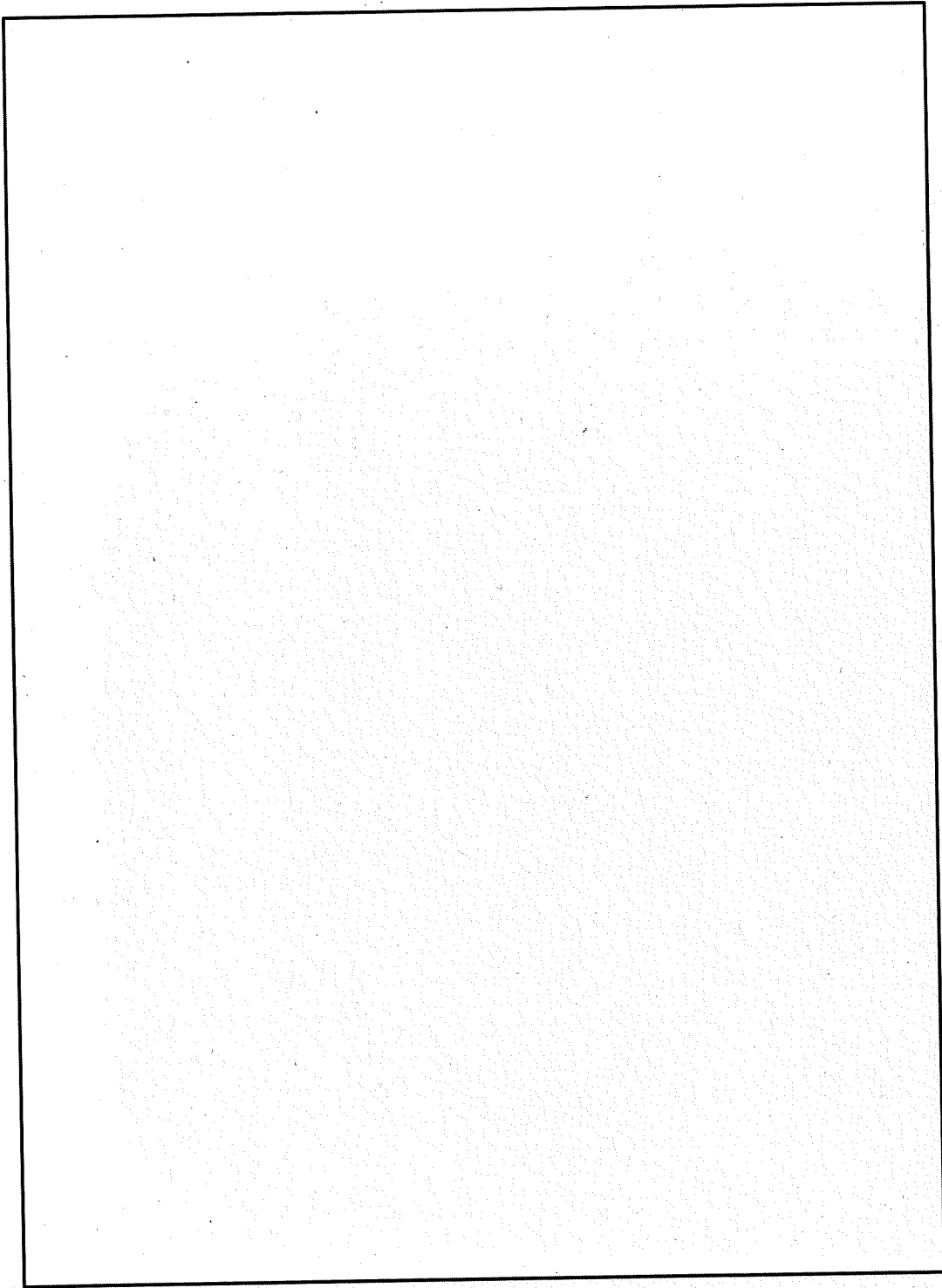
3Dモデルと2Dモデル（全体モデル、輪切りモデル）の除熱解析結果の比較を別紙2-3表に示す。また、温度分布の比較を別紙2-3図及び別紙2-4図に示す。

別紙2-3表より、中性子遮蔽材、胴及び蓋部、金属ガスケット、バスケット並びに燃料集合体の温度は、すべての部位において2Dモデルの方が3Dモデルよりも高い結果となった。また、燃料集合体領域で最高温度となる金属キャスク径方向断面における、軸方向及び径方向の熱移動量の割合を別紙2-4表に示す。別紙2-4表より、軸方向及び径方向の熱移動量の割合は3Dモデルと2Dモデル（全体モデル）で同等である。

4. まとめ

2Dモデルを用いた除熱解析で得られている評価部位の最高温度は、3Dモデルを用いた除熱解析で得られた評価部位の最高温度よりもすべての評価部位において高い結果となり、2Dモデルは保守的な除熱解析モデルといえる。また、軸方向及び径方向の熱移動量の割合は、3Dモデルと2Dモデル（全体モデル）で同等の結果となり、2Dモデル（全体モデル）における均質化領域の物性値と軸方向熱移動の設定方法は妥当であるといえる。

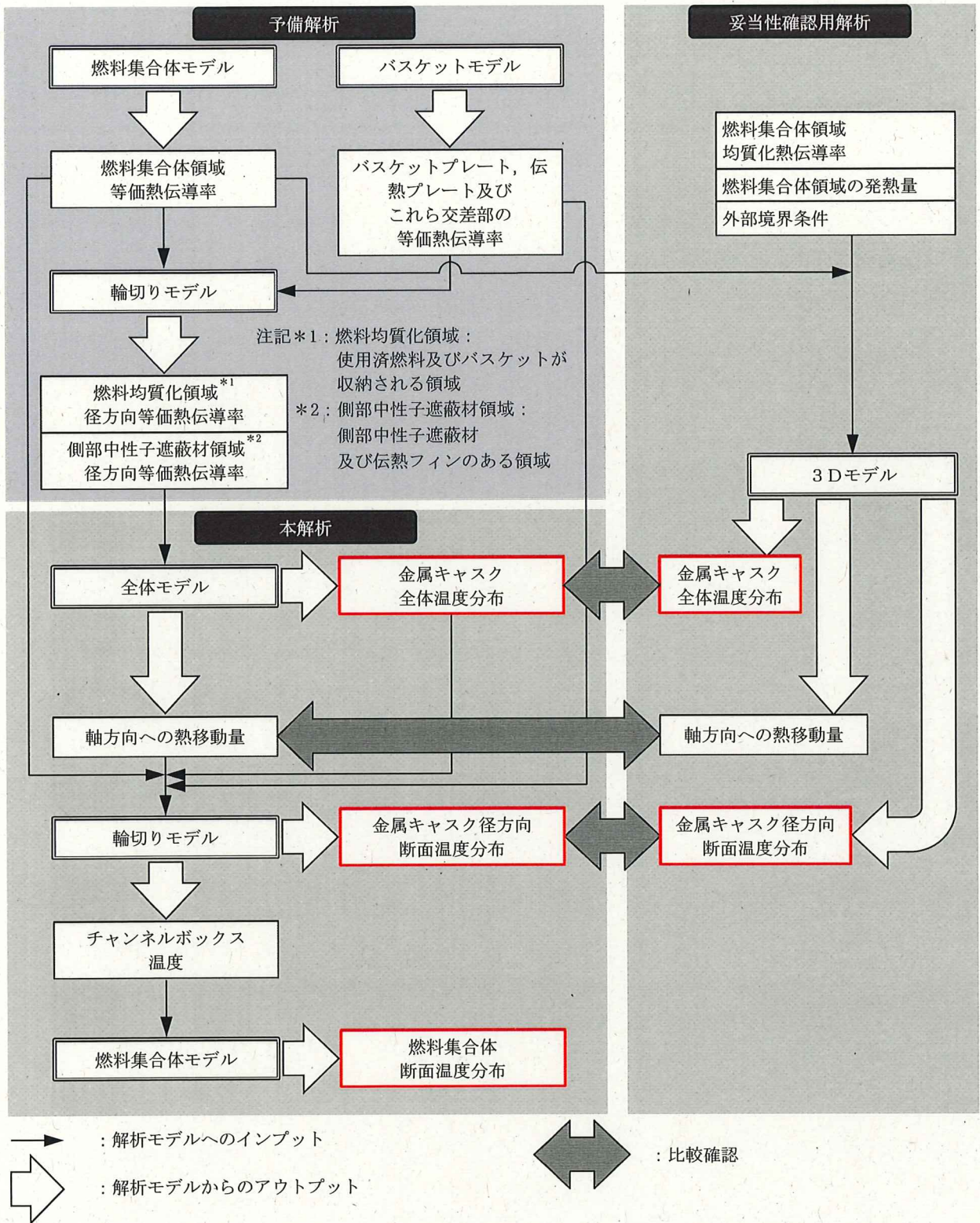
以上より、2DモデルによるHDP-69B(B)型の除熱解析手法は妥当である。



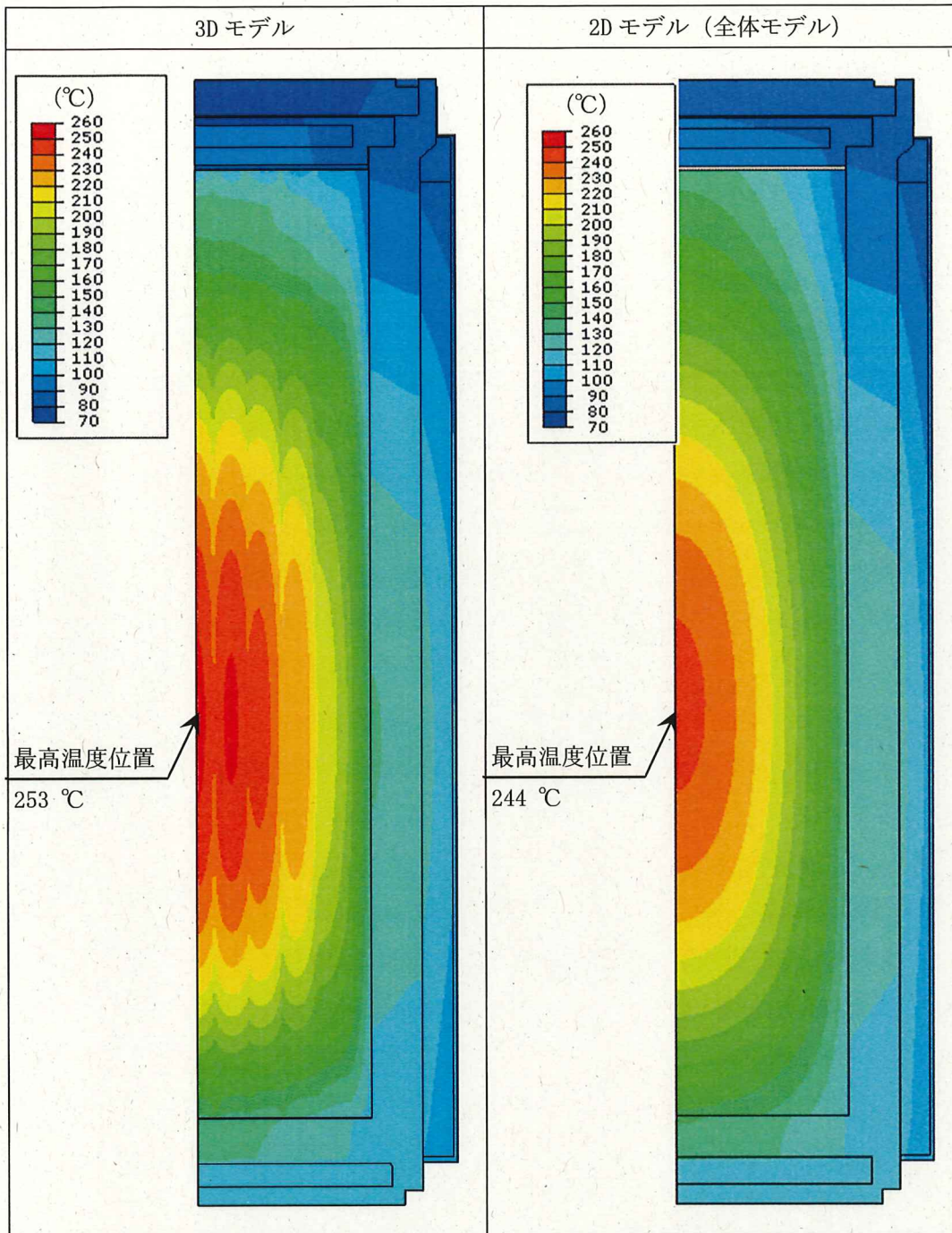
別紙 2-1 図 3D モデル (1/4 対称モデル)

別紙 2-3

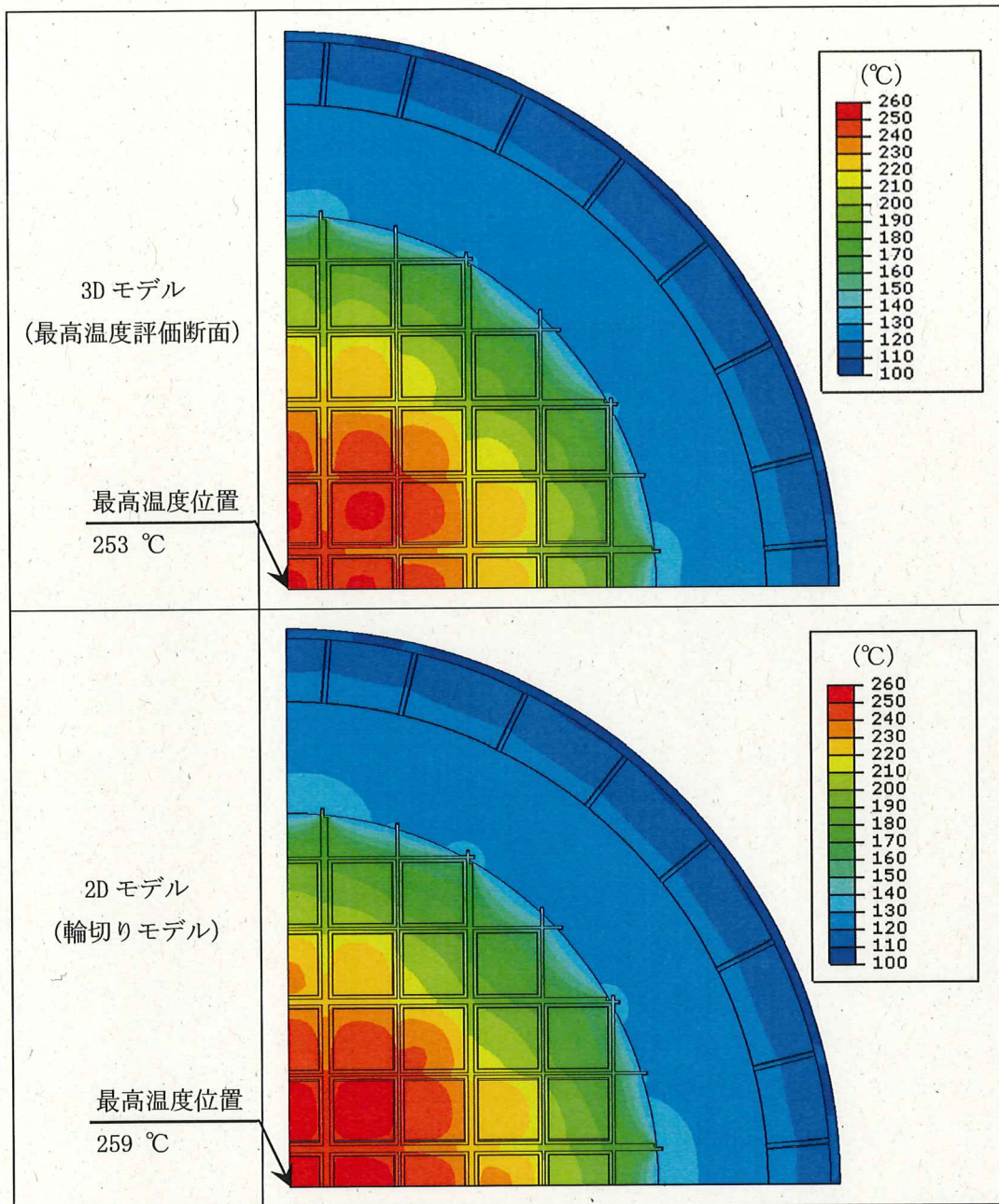
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 2-2 図 3D モデルによる 2D モデルの妥当性確認フロー図



別紙 2-3 図 温度分布の比較 (1/2)



別紙 2-4 図 温度分布の比較 (2/2)

別紙 2-1 表 モデル化方針

項目	3D モデル	2D モデル
燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> ・ チャンネルボックスより内部を直方体形状で均質化。 ・ 軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して均質化した熱伝導率を設定。 ・ 燃料有効部の径方向熱伝導率は、燃料集合体モデルから求められる等価熱伝導率を設定。 ・ 燃料有効部以外の径方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して均質化した熱伝導率を設定。 	<p>(全体モデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料集合体、バスケット等を均質化。 ・ 軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して均質化した熱伝導率を設定。 ・ 径方向熱伝導率は、輪切りモデルから求められる等価熱伝導率を設定。 <p>(輪切りモデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ チャンネルボックスより内部を正形状で均質化。 ・ 燃料集合体モデルから求められる等価熱伝導率を設定。
バスケット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 切欠き、ギャップを無視し、軸方向に連続体としてモデル化。 ・ 軸方向熱伝導率は、軸方向接触面にギャップが存在すると仮定して設定。 ・ 径方向熱伝導率は、バスケットモデルから求められる等価熱伝導率を設定。 	<p>(全体モデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料集合体、バスケット等を均質化。 ・ 軸方向熱伝導率は、軸方向接触面にギャップが存在すると仮定して設定。 <p>(輪切りモデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 径方向熱伝導率は、バスケットモデルから求められる等価熱伝導率を設定。
伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実形状をモデル化。 	<p>(全体モデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して均質化した熱伝導率を設定。 ・ 径方向熱伝導率は、輪切りモデルから求められる等価熱伝導率を設定。 <p>(輪切りモデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実形状をモデル化。
トラニオン	省略	同左
蓋ボルト	省略	同左
金属ガスケット	省略	同左

別紙 2-2 表 解析条件

項目	3D モデル	2D モデル	
伝熱解析コード	ABAQUS	同左	
発熱量	15.34 kW (配置(i)の設計崩壊熱量)	同左	
使用済燃料の軸方向の発熱量設定	使用済燃料の軸方向の崩壊熱量分布を考慮(ノードごとに発熱密度を設定)。	同左	
使用済燃料の収納配置ごとの崩壊熱量設定	中央部の使用済燃料 37 体は、最高燃焼度の発熱量で設定。外周部の使用済燃料 32 体は、使用済燃料の収納体数全数 (69 体) の総発熱量が設計崩壊熱量となるように設定。	全体モデルではすべて平均燃焼度の発熱量で設定。輪切りモデルでは外周部の使用済燃料 32 体に軸方向の熱移動を考慮。中央部の使用済燃料 37 体は、最高燃焼度の発熱量で設定。	
境界条件	周囲空気温度	45 °C	同左
	貯蔵建屋壁面温度	65 °C	同左
	貯蔵建屋壁面放射率	0.8	同左
	金属キャスク表面放射率	0.8	同左
	金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数	0.232*1	同左
	金属キャスク側面表面熱伝達率	垂直平板の乱流自然対流熱伝達の式*2 $h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$	同左
	金属キャスク上面表面熱伝達率	加熱水平上面の乱流自然対流熱伝達の式*2 $h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$	同左
	金属キャスク下部端板表面熱伝達率	加熱水平下面の層流自然対流熱伝達の式*2 $h = 0.6 \frac{\lambda}{D} \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5}$	同左
	底部熱移動	断熱	同左

注記*1：金属キャスク配列ピッチ 3.5 m から算出される値。

*2：記号の説明を以下に示す。

h：熱伝達率 (W/(m²・K))，λ：熱伝導率 (W/(m・K))，g：重力加速度 (m/s²)，
β：体積膨張係数 (1/K)，ΔT：周囲空気と外表面の温度差 (K)，
ν：動粘性係数 (m²/s)，Pr：プラントル数 (-)，D：代表長さ (m)

別紙 2-3 表 除熱解析結果の比較 (配置 (i))

評価部位	最高温度 (°C)		温度比較 (°C) (2D モデル) - (3D モデル)
	3D モデル	2D モデル (配置 (i))	
中性子遮蔽材*1	125	128 (輪切りモデル)	+3
胴及び蓋部	135	142 (全体モデル)	+7
金属ガスケット*2	94	96 (全体モデル)	+2
バスケット	245	248 (輪切りモデル)	+3
燃料集合体	253	259 (輪切りモデル)	+6

注記*1: 蓋部, 側部, 底部中性子遮蔽材のうち最高温度となる部位。

*2: 保守側に評価するため, 一次蓋の最高温度とした。なお, 一次蓋金属ガスケット設置位置の最高温度は, 3D モデルの場合 88 °C, 2D モデル (全体モデル) の場合 89 °Cである。

別紙 2-4 表 最高温度評価断面における軸方向及び径方向の熱移動量割合の比較

項目	記号	3D モデル (%)	2D モデル (全体モデル) (%)
胴内面	Q_{r1}	85	81
	Q_{z1}	15	19
外筒外面	Q_{r2}	86	85
	Q_{z2}	14	15

注記：表中の記号は下図参照。

