

添付書類

添付書類目次

今回の申請に係る型式設計特定容器等の型式指定変更承認申請書（金属製の乾式キャスク）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

申請書の変更に伴う変更を行う。

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

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成28年10月5日付原規規発第16100517号をもって型式指定）の添付書類 2 の記載内容に同じ。

添付書類 3 放射線の遮蔽に関する説明書

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成28年10月5日付原規規発第16100517号をもって型式指定）の添付書類 3 の記載内容に同じ。

添付書類 4 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成28年10月5日付原規規発第16100517号をもって型式指定）の添付書類 4 の記載内容に同じ。

添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成28年10月5日付原規規発第16100517号をもって型式指定）の添付書類 5 の記載内容に同じ。

添付書類 6 火災及び爆発の防止に関する説明書

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成28年10月5日付原規規発第16100517号をもって型式指定）の添付書類 6 の記載内容に同じ。

添付書類 7 耐震性に関する説明書

申請書の変更に伴う変更を行う。

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

申請書の変更に伴う変更を行う。

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

申請書の変更に伴う変更を行う。

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

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成 28 年 10 月 5 日付原規規発第 16100517 号をもって型式指定）の添付書類 10 の記載内容に同じ。

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又は特定容器等型式証明変更承認通知書の写し

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変更（令和元年 7 月 5 日付原規規発第 1907048 号をもって型式証明変更承認）に伴う変更を行う。

資料 11 に示すとおりである。

参考図面 各部の公称寸法及び許容範囲

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成 28 年 10 月 5 日付原規規発第 16100517 号をもって型式指定）の参考図面の記載内容に同じ。

参考資料 一次蓋及び二次蓋の必要な厚さ及びボルトの評価

型式設計特定容器等の型式指定申請書（平成 28 年 10 月 5 日付原規規発第 16100517 号をもって型式指定）の参考資料の記載内容に同じ。

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	2

1. 概要

本書は、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43条の26の2第1項にて型式証明を受けた設計による型式の指定であることが法第43条の26の3第3項第1号により規定されており、当該基準に適合することを説明するものである。

2. 基本方針

MSF-52B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変更申請書（以下「型式証明変更申請書」という。）の基本方針に従った詳細設計であることを、型式証明変更申請書との整合性により示す。

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

また、型式証明変更申請書「添付書類1」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、左欄から型式証明変更申請書「本文」、型式証明変更申請書「添付書類1」、型式指定変更承認申請書及び整合性を記載する。
- (2) 説明書の記載順は、型式証明変更申請書「本文（四号）」及び「本文（五号）」に記載する順とする。
- (3) 型式証明変更申請書と型式指定変更承認申請書の記載が同等の箇所には、実線のアンダーラインまた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、型式指定変更承認申請の内容が型式証明変更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に関する説明書 (1/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>四 特定容器等の構造及び設備</p> <p>1. 構造</p> <p>MSF-52B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集合体を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料集合体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。MSF-52B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。）、金属キャスクに封入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。）、金属キャスクに封入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封入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。</p> <p>MSF-52B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たすとともに、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。</p> <p>イ、使用済燃料の臨界防止に関する構造</p> <p>MSF-52B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のない構造とする。</p>	<p>2. 設計方針及び設計条件</p> <p>2.1 設計方針</p> <p>MSF-52B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。）、金属キャスクに封入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。）、金属キャスクに封入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封入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。</p> <p>また、MSF-52B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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>2.1.1 臨界防止機能に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料集合体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、及び適切な位置に配置された中性子吸収材により臨界を防止する設計とする。</p> <p>また、MSF-52B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MSF-52B型に使用済燃料集合体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。</p> <p>バスケット格子は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。</p>	<p>6 型式設計特定容器等の設計の概要</p> <p>6.1 基本設計方針</p> <p>MSF-52B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集合体を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料集合体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。MSF-52B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。）、金属キャスクに封入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。）、金属キャスクに封入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封入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。</p> <p>また、MSF-52B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たすとともに、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。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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本産業規格（JIS） ・日本機械学会（JSME）規格 ・日本原子力学会（AESJ）標準等 <p>6.1.1 使用済燃料の臨界防止に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料集合体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、及び適切な位置に配置された中性子吸収材により臨界を防止する設計とする。</p> <p>また、MSF-52B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MSF-52B型に使用済燃料集合体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。</p> <p>バスケット格子は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。</p>	<p>添付書類2 使用済燃料の臨界防止に関する説明書 (使用済燃料の臨界防止に関する詳細な評価は、資料2に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明変更申請書（本文）第四号において、型式指定変更承認申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、現行国内法規を追記したものであり、整合している。</p> <p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、国内規格の名称だけを更新するものであり、整合している。</p> <p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、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対する設計方針を具体的に記載しており、かつ、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のない構造への設計方針を、MSF-52B型の一連の使用状態と実効増倍率により具体的に記載しており、整合している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (2/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>ロ、放射線の遮蔽に関する構造</p> <p><u>MSF-52B型は、使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽できる構造とする。</u></p>	<p>2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p><u>MSF-52B型は、使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、MSF-52B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27年1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。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。 ・表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100μSv/hを超えないこと。 <p><u>さらに、設計貯蔵期間中におけるMSF-52B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。</u></p>	<p>6.1.7 遮蔽に関する設計方針</p> <p><u>MSF-52B型は、使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、MSF-52B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）」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。 ・表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100μSv/hを超えないこと。 <p><u>さらに、設計貯蔵期間中におけるMSF-52B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。</u></p>	<p>添付書類3 放射線の遮蔽に関する説明書</p> <p>(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>	
<p>ハ、使用済燃料等の閉じ込めに関する構造</p> <p><u>MSF-52B型は、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を封入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、MSF-52B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、使用済燃料集合体を封入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。</u></p>	<p>2.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針</p> <p><u>MSF-52B型は、使用済燃料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集合体を封入する空間を負圧に維持する設計とする。また、MSF-52B型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を封入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。</u></p> <p>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。</p>	<p>6.1.3 閉じ込めの機能に関する設計方針</p> <p><u>MSF-52B型は、使用済燃料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集合体を封入する空間を負圧に維持する設計とする。また、MSF-52B型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を封入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。</u></p> <p>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、ゴムリングをシール材とした三次蓋を取付け、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。</p> <p>6.1.8 その他の設計方針</p> <p>(2) MSF-52B型は主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な設計とする。また、MSF-52B型は、キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体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。また、キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を講ずる。</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</p> <p>(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>型式証明変更申請書「本文」に記載される、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を封入する空間を不活性雰囲気に保つとともに負圧に維持できる構造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>型式証明変更申請書「本文」に記載される、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料集合体を封入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>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (3/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性																									
<p>二、使用済燃料等の除熱に関する構造</p> <p>MSF-52B型は、基本的安全機能を維持する観点から、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる構造とする。</p>	<p>2.1.4 除熱機能に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料集合体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維持するために、使用済燃料集合体の崩壊熱を除去する設計とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度、照射硬化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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新型8×8燃料 200℃以下⁽¹⁾⁽²⁾ ・新型8×8ジルコニウムライナ燃料 300℃以下⁽¹⁾⁽²⁾ ・高燃焼度8×8燃料 300℃以下⁽¹⁾⁽²⁾ <p>また、MSF-52B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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・胴、外筒及び蓋部 350℃以下⁽³⁾ ・中性子遮蔽材 149℃以下⁽⁴⁾⁽⁵⁾ ・金属ガasket 130℃以下⁽⁶⁾ ・バスケット格子 350℃以下⁽³⁾ 	<p>6.1.6 除熱に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料集合体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維持するために、使用済燃料集合体の崩壊熱を除去する設計とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度、照射硬化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温度制限が設けられる。</p> <p>また、MSF-52B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制限を設ける。</p>	<p>添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書</p> <p>2. MSF-52B型の除熱設計</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できるように、使用済燃料から発生する崩壊熱を伝導、対流、放射により金属キャスクの外表面に伝え、周囲の空気等に伝達し除去する。MSF-52B型内部のバスケットは、炭素鋼製のバスケットプレート、ほう素添加アルミニウム合金製の中性子吸収材及びアルミニウム合金製の伝熱サポートにより構成され、必要な伝熱性能を確保する。側部中性子遮蔽材部には除熱を促進するための鋼製の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。除熱評価によって、使用済燃料被覆管と構成部材の温度が設計基準値以下となり、使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できることを確認する</p> <p style="text-align: center;">第2-1表 設計基準</p> <table border="1" data-bbox="1941 802 2558 1440"> <thead> <tr> <th colspan="2">対象となる部位</th> <th>設計基準値 (°C)</th> <th>設計基準の考え方</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">燃料被覆管</td> <td>新型8×8ジルコニウムライナ燃料</td> <td rowspan="2">300⁽¹⁾</td> <td rowspan="3">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。</td> </tr> <tr> <td>高燃焼度8×8燃料</td> </tr> <tr> <td>新型8×8燃料</td> <td>200⁽¹⁾</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">金属キャスク</td> <td>胴、外筒及び蓋部</td> <td>350⁽²⁾</td> <td rowspan="4">基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な構成部材は、健全性が維持できる温度以下とする。</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)</td> <td>149⁽³⁾⁽⁴⁾</td> </tr> <tr> <td>金属ガasket</td> <td>130⁽⁵⁾</td> </tr> <tr> <td>バスケット格子*1</td> <td>350⁽²⁾</td> </tr> <tr> <td></td> <td>トフニオン</td> <td>350⁽²⁾</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1：バスケット格子とは、バスケットプレートの組立体をいう。</p>	対象となる部位		設計基準値 (°C)	設計基準の考え方	燃料被覆管	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	300 ⁽¹⁾	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。	高燃焼度8×8燃料	新型8×8燃料	200 ⁽¹⁾	金属キャスク	胴、外筒及び蓋部	350 ⁽²⁾	基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な構成部材は、健全性が維持できる温度以下とする。	中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	149 ⁽³⁾⁽⁴⁾	金属ガasket	130 ⁽⁵⁾	バスケット格子*1	350 ⁽²⁾		トフニオン	350 ⁽²⁾		<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、基本的安全機能を維持する観点から、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる構造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>型式証明変更申請書「添付書類1」に記載される、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制限を設けることに対して、対象となる部位を具体的に記載のうえ制限温度値を明記しており、整合している。</p>
対象となる部位		設計基準値 (°C)	設計基準の考え方																										
燃料被覆管	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	300 ⁽¹⁾	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。																										
	高燃焼度8×8燃料																												
	新型8×8燃料	200 ⁽¹⁾																											
金属キャスク	胴、外筒及び蓋部	350 ⁽²⁾	基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な構成部材は、健全性が維持できる温度以下とする。																										
	中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	149 ⁽³⁾⁽⁴⁾																											
	金属ガasket	130 ⁽⁵⁾																											
	バスケット格子*1	350 ⁽²⁾																											
	トフニオン	350 ⁽²⁾																											

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (4/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>ホ、その他の主要な構造</p> <p>MSF-52B型は、イからニに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。</p> <p>(1) MSF-52B型は、基本的安全機能を維持する上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。</p> <p>(2) MSF-52B型は、使用済燃料集合体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、使用済燃料集合体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。</p> <p>(3) MSF-52B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。</p>	<p>2.1.6 長期健全性に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、基本的安全機能を維持する上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、MSF-52B型は、キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体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。また、キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を講ずる。</p> <p>2.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料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集合体を封入する空間を負圧に維持する設計とする。また、MSF-52B型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を封入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。</p> <p>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。</p>	<p>6.1.8 その他の設計方針</p> <p>(2) MSF-52B型は主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設計とする。また、MSF-52B型は、キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体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。また、キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を講ずる。</p> <p>6.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料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集合体を封入する空間を負圧に維持する設計とする。また、MSF-52B型は、金属ガスケットをシール材とした一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を封入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。</p> <p>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、ゴムリングをシール材とした三次蓋を取付け、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。</p>	<p>添付書類8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書</p> <p>(耐食性に関する詳細な説明は、資料8の添付書類8-5に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、使用済燃料集合体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、使用済燃料集合体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に対して、MSF-52B型の基本的安全機能を有する構成部材を具体的に挙げ、設計方針を記載するとともに、その他の主要な構成部材についても耐食性を評価していることから、整合している。</p> <p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、三次蓋を取り付けて輸送できる構造を有する設計に対して、三次蓋の目的及び運用を具体的に挙げることで設計方針を明確にしており、整合している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (5/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>(4) MSF-52B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。</p> <p>(5) MSF-52B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。</p>	<p>2.1.5 構造強度に関する設計方針</p> <p>MSF-52B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」」(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、MSF-52B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留まる範囲で耐え得る設計とする。</p>	<p>6.1.6 材料及び構造に関する設計方針</p> <p>MSF-52B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。))、(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」JSM S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。))及び(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格「JSM S NC1-2005 (2007年追加版含む)」」(以下「設計・建設規格」という。))に基づき設計する。</p> <p>6.1.2 地震による損傷の防止に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、設計条件として設定する地震力(水平方向1.5G、鉛直方向1.0G)に対して、概ね弾性状態に留まる範囲で耐え、かつ、基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。</p> <p>6.1.8 その他の設計方針</p> <p>(1) MSF-52B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。</p>	<p>添付書類8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書</p> <p>(耐圧強度に関する詳細な評価は、資料8の添付書類8-1、バスケットの強度に関する詳細な評価は添付書類8-2、トランニオンの強度に関する詳細な評価は添付書類8-3、並びに外筒、下部端板及び中性子遮蔽材カバーの強度に関する詳細な評価は添付書類8-4に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、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に対して、MSF-52B型の設計方針を具体的に記載しており、整合している。</p>

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (6/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性																																																																																																																													
<p>2. 主要な設備及び機器の種類</p> <p>金属キャスク</p> <p>種類 鍛造キャスク(鋼-樹脂遮蔽体タイプ)</p> <p>全質量(使用済燃料集合体を含む) 約116t</p> <p>寸法</p> <p>全長 約5.5m</p> <p>外径 約2.4m</p>	<p>第1-1表 MSF-52B型の仕様</p> <table border="1" data-bbox="691 409 1258 1381"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全質量(使用済燃料集合体を含む)</td> <td>約116 t</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td></td> </tr> <tr> <td>全長</td> <td>約5.5 m</td> </tr> <tr> <td>外径</td> <td>約2.4 m</td> </tr> <tr> <td>収納体数</td> <td>52体</td> </tr> <tr> <td>最大崩壊熱量</td> <td>13.7 kW</td> </tr> <tr> <td>キャスク本体</td> <td></td> </tr> <tr> <td>胴(ガンマ線遮蔽材)</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>外筒(ガンマ線遮蔽材)</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>トラニオン</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>樹脂</td> </tr> <tr> <td>伝熱フィン</td> <td>銅</td> </tr> <tr> <td>蓋部(81)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>炭素鋼</td> </tr> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>合金鋼</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>炭素鋼 (中性子吸収材を配置)</td> </tr> <tr> <td>内部充填ガス</td> <td>ヘリウムガス</td> </tr> <tr> <td>シール材</td> <td>金属ガスケット</td> </tr> <tr> <td>閉じ込め監視方式</td> <td>圧力センサによる蓋間圧力監視</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注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、ゴムリングをシール材とした三次蓋を装着する。</p>	項目	仕様	全質量(使用済燃料集合体を含む)	約116 t	寸法		全長	約5.5 m	外径	約2.4 m	収納体数	52体	最大崩壊熱量	13.7 kW	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	トラニオン	ステンレス鋼	中性子遮蔽材	樹脂	伝熱フィン	銅	蓋部(81)		一次蓋	炭素鋼	二次蓋	炭素鋼	蓋ボルト	合金鋼	バスケット	炭素鋼 (中性子吸収材を配置)	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	<p>6.2 設計仕様</p> <p>MSF-52B型の設計仕様は、以下のとおりである。また、MSF-52B型の構造図を第1図に示す。</p> <table border="1" data-bbox="1308 409 1902 1818"> <thead> <tr> <th>型式</th> <th>MSF-52B型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>容量</td> <td>52 * 2</td> </tr> <tr> <td>最大崩壊熱量</td> <td>13.7 kW</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa 0.8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">最高使用温度</td> <td>キャスク本体 °C 155</td> </tr> <tr> <td>バスケット °C 265</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">全長</td> <td>mm 5479</td> </tr> <tr> <td>外径 mm 2378</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">キャスク本体</td> <td>胴</td> </tr> <tr> <td>胴板厚さ mm 250</td> </tr> <tr> <td>底板厚さ mm 275</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>外径 mm 2378</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>板厚 mm 22</td> </tr> <tr> <td>側部中性子遮蔽材厚さ</td> <td>mm 164.4</td> </tr> <tr> <td>底部中性子遮蔽材厚さ</td> <td>mm 120</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">伝熱フィン</td> <td>厚さ mm 8</td> </tr> <tr> <td>枚数 枚 32</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">一次蓋</td> <td>外径 mm 1714</td> </tr> <tr> <td>厚さ mm 211</td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>蓋部中性子遮蔽材厚さ mm 100</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">一次蓋ボルト</td> <td>呼び径 -</td> </tr> <tr> <td>本数 本</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋</td> <td>外径 mm 1950</td> </tr> <tr> <td>厚さ mm 140</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋ボルト</td> <td>呼び径 -</td> </tr> <tr> <td>本数 本</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">バスケット</td> <td>外径 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ mm</td> </tr> <tr> <td>内幅 mm</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート厚さ mm</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>中性子吸収材厚さ mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">トラニオン</td> <td>上部トラニオン外径(吊上げ部) mm 140</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン外径(固縛部) mm 200</td> </tr> <tr> <td rowspan="13">材料</td> <td>胴</td> <td>GLF1</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>SGV480</td> </tr> <tr> <td>側部中性子遮蔽材</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>底部中性子遮蔽材</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>伝熱フィン</td> <td>C1020</td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>GLF1</td> </tr> <tr> <td>蓋部中性子遮蔽材</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト</td> <td>SNB23-3</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>GLF1</td> </tr> <tr> <td>二次蓋ボルト</td> <td>SNB23-3</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート</td> <td>SGV480</td> </tr> <tr> <td>中性子吸収材</td> <td>ほう素添加アルミニウム合金</td> </tr> <tr> <td>上部トラニオン</td> <td>SUS630 H1150</td> </tr> <tr> <td>下部トラニオン</td> <td>SUS630 H1150</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: 主要寸法は公称値を示す。 *2: MSF-52B型全質量(使用済燃料集合体52体を含む)は、116.1t以下である。</p>	型式	MSF-52B型	容量	52 * 2	最大崩壊熱量	13.7 kW	最高使用圧力	MPa 0.8	最高使用温度	キャスク本体 °C 155	バスケット °C 265	全長	mm 5479	外径 mm 2378	キャスク本体	胴	胴板厚さ mm 250	底板厚さ mm 275	外筒	外筒	外径 mm 2378	外筒	板厚 mm 22	側部中性子遮蔽材厚さ	mm 164.4	底部中性子遮蔽材厚さ	mm 120	伝熱フィン	厚さ mm 8	枚数 枚 32	一次蓋	外径 mm 1714	厚さ mm 211	一次蓋	蓋部中性子遮蔽材厚さ mm 100	一次蓋ボルト	呼び径 -	本数 本	二次蓋	外径 mm 1950	厚さ mm 140	二次蓋ボルト	呼び径 -	本数 本	バスケット	外径 mm	高さ mm	内幅 mm	バスケットプレート厚さ mm	バスケット	中性子吸収材厚さ mm	トラニオン	上部トラニオン外径(吊上げ部) mm 140	下部トラニオン外径(固縛部) mm 200	材料	胴	GLF1	外筒	SGV480	側部中性子遮蔽材	レジン	底部中性子遮蔽材	レジン	伝熱フィン	C1020	一次蓋	GLF1	蓋部中性子遮蔽材	レジン	一次蓋ボルト	SNB23-3	二次蓋	GLF1	二次蓋ボルト	SNB23-3	バスケットプレート	SGV480	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	上部トラニオン	SUS630 H1150	下部トラニオン	SUS630 H1150	<p>添付書類2 使用済燃料の臨界防止に関する説明書 (使用済燃料の臨界防止に関する詳細な評価は、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> <p>添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書 (使用済燃料等の除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>添付書類8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書 (耐圧強度に関する詳細な評価、及び耐食性に関する詳細な評価は、資料8に示すとおりである。)</p>	<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、鍛造キャスク(鋼-樹脂遮蔽体タイプ)の全質量(使用済燃料集合体を含む)約116t並びに、全長5.5m及び外径2.4mに対して、MSF-52B型各部の材質名及び寸法値を具体的に記載しており、整合している。</p> <p>型式証明変更申請書「添付書類1」に記載される、MSF-52B型の仕様に対して、各部の材質名、収納体数、設計崩壊熱量、内部ガス、シール材及び閉じ込め監視方法を具体的に記載しており、整合している。</p>
項目	仕様																																																																																																																																
全質量(使用済燃料集合体を含む)	約116 t																																																																																																																																
寸法																																																																																																																																	
全長	約5.5 m																																																																																																																																
外径	約2.4 m																																																																																																																																
収納体数	52体																																																																																																																																
最大崩壊熱量	13.7 kW																																																																																																																																
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																																																																																																																																
トラニオン	ステンレス鋼																																																																																																																																
中性子遮蔽材	樹脂																																																																																																																																
伝熱フィン	銅																																																																																																																																
蓋部(81)																																																																																																																																	
一次蓋	炭素鋼																																																																																																																																
二次蓋	炭素鋼																																																																																																																																
蓋ボルト	合金鋼																																																																																																																																
バスケット	炭素鋼 (中性子吸収材を配置)																																																																																																																																
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																																																																																																																																
型式	MSF-52B型																																																																																																																																
容量	52 * 2																																																																																																																																
最大崩壊熱量	13.7 kW																																																																																																																																
最高使用圧力	MPa 0.8																																																																																																																																
最高使用温度	キャスク本体 °C 155																																																																																																																																
	バスケット °C 265																																																																																																																																
全長	mm 5479																																																																																																																																
	外径 mm 2378																																																																																																																																
キャスク本体	胴																																																																																																																																
	胴板厚さ mm 250																																																																																																																																
	底板厚さ mm 275																																																																																																																																
	外筒																																																																																																																																
外筒	外径 mm 2378																																																																																																																																
外筒	板厚 mm 22																																																																																																																																
側部中性子遮蔽材厚さ	mm 164.4																																																																																																																																
底部中性子遮蔽材厚さ	mm 120																																																																																																																																
伝熱フィン	厚さ mm 8																																																																																																																																
	枚数 枚 32																																																																																																																																
一次蓋	外径 mm 1714																																																																																																																																
	厚さ mm 211																																																																																																																																
一次蓋	蓋部中性子遮蔽材厚さ mm 100																																																																																																																																
一次蓋ボルト	呼び径 -																																																																																																																																
	本数 本																																																																																																																																
二次蓋	外径 mm 1950																																																																																																																																
	厚さ mm 140																																																																																																																																
二次蓋ボルト	呼び径 -																																																																																																																																
	本数 本																																																																																																																																
バスケット	外径 mm																																																																																																																																
	高さ mm																																																																																																																																
	内幅 mm																																																																																																																																
	バスケットプレート厚さ mm																																																																																																																																
バスケット	中性子吸収材厚さ mm																																																																																																																																
トラニオン	上部トラニオン外径(吊上げ部) mm 140																																																																																																																																
	下部トラニオン外径(固縛部) mm 200																																																																																																																																
材料	胴	GLF1																																																																																																																															
	外筒	SGV480																																																																																																																															
	側部中性子遮蔽材	レジン																																																																																																																															
	底部中性子遮蔽材	レジン																																																																																																																															
	伝熱フィン	C1020																																																																																																																															
	一次蓋	GLF1																																																																																																																															
	蓋部中性子遮蔽材	レジン																																																																																																																															
	一次蓋ボルト	SNB23-3																																																																																																																															
	二次蓋	GLF1																																																																																																																															
	二次蓋ボルト	SNB23-3																																																																																																																															
	バスケットプレート	SGV480																																																																																																																															
	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金																																																																																																																															
	上部トラニオン	SUS630 H1150																																																																																																																															
下部トラニオン	SUS630 H1150																																																																																																																																

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (7/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性																		
		<p>6.1.3 閉じ込めの機能に関する設計方針</p> <p>MSF-52B型は、使用済燃料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集合体を封入する空間を負圧に維持する設計とする。また、MSF-52B型は、金属ガスケットをシール材とした一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を封入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。</p> <p>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、ゴムリングをシール材とした三次蓋を取付け、三次蓋の気密漏えい検査等運転に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。</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</p> <p>2. MSF-52B 型の閉じ込め設計</p> <p>(前略) MSF-52B 型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の多重の閉じ込め構造とし、その蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質を金属キャスク内部に閉じ込める。また、使用済燃料を内封する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。蓋及び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。(中略) さらに、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。(中略)</p> <p>MSF-52B 型の閉じ込め境界は、第 2-1 図に示すように胴、底板、一次蓋、カバープレート及び金属ガスケット(一次蓋及びカバープレートに取り付けられた金属ガスケット)とする。また、第 2-2 図に示すように一次蓋と二次蓋間の空間を閉じ込め監視圧力境界とする。(後略)</p> <p style="text-align: center;">第 2-1 表 評価条件</p> <table border="1" data-bbox="1932 898 2567 1234"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>評価条件</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>圧力</td> <td>金属キャスク内部 : 8.0×10^4 Pa [abs] (初期) 蓋間空間 : 4.1×10^4 Pa [abs] 大気圧 : 9.7×10^4 Pa [abs]</td> <td>蓋間空間は、設計評価期間中一定として評価</td> </tr> <tr> <td>空間容積</td> <td>金属キャスク内部 蓋間空間</td> <td></td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>金属キャスク内部*1 : 270 °C シール部*2 : -22.4 °C</td> <td>金属キャスク内部の温度は、除熱評価結果から保守的に設定</td> </tr> <tr> <td>内部気体</td> <td>ヘリウム</td> <td></td> </tr> <tr> <td>設計評価期間</td> <td>60 年</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1：内部流体の最高温度 *2：最低温度</p>	項目	評価条件	備考	圧力	金属キャスク内部 : 8.0×10^4 Pa [abs] (初期) 蓋間空間 : 4.1×10^4 Pa [abs] 大気圧 : 9.7×10^4 Pa [abs]	蓋間空間は、設計評価期間中一定として評価	空間容積	金属キャスク内部 蓋間空間		温度	金属キャスク内部*1 : 270 °C シール部*2 : -22.4 °C	金属キャスク内部の温度は、除熱評価結果から保守的に設定	内部気体	ヘリウム		設計評価期間	60 年		
項目	評価条件	備考																				
圧力	金属キャスク内部 : 8.0×10^4 Pa [abs] (初期) 蓋間空間 : 4.1×10^4 Pa [abs] 大気圧 : 9.7×10^4 Pa [abs]	蓋間空間は、設計評価期間中一定として評価																				
空間容積	金属キャスク内部 蓋間空間																					
温度	金属キャスク内部*1 : 270 °C シール部*2 : -22.4 °C	金属キャスク内部の温度は、除熱評価結果から保守的に設定																				
内部気体	ヘリウム																					
設計評価期間	60 年																					

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (8/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「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毎の最大貯蔵能力</p> <p>イ. 使用済燃料の種類</p> <p>BWR使用済燃料集合体</p> <p>新型8×8燃料</p> <p>新型8×8ジルコニウムライナ燃料</p> <p>高燃焼度8×8燃料</p> <p>使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。</p> <p>(1) 新型8×8燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 34,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 22年以上</p> <p>(2) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 38,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 12年以上</p> <p>(3) 高燃焼度8×8燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 50,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 43,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 12年以上</p> <p>(4) 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</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の最高燃焼度 50,000Mwd/t以下</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の平均燃焼度 43,000Mwd/t以下</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の冷却期間 12年以上</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の平均燃焼度 38,000Mwd/t以下</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の冷却期間 12年以上</p> <p>なお、使用済燃料集合体をMSF-52B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集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。</p> <p>ロ. 最大貯蔵能力</p> <p>金属キャスク1基当たりの貯蔵能力</p> <p>BWR使用済燃料集合体 52体</p> <p>最大崩壊熱量 13.7kW</p>	<p>第1-2表 使用済燃料集合体の仕様</p> <table border="1" data-bbox="676 317 1276 1209"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th colspan="3">仕 様</th> </tr> <tr> <th>使用済燃料の種類</th> <th>新型8×8燃料</th> <th>新型8×8ジルコニウムライナ燃料</th> <th>高燃焼度8×8燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>形 集 合 体 幅</td> <td>約132 mm又は約134 mm</td> <td>約132 mm又は約134 mm</td> <td>約132 mm又は約134 mm</td> </tr> <tr> <td>状 全 長</td> <td>約4,350 mm又は約4,470 mm</td> <td>約4,350 mm又は約4,470 mm</td> <td>約4,350 mm又は約4,470 mm</td> </tr> <tr> <td>質 量</td> <td>約270 kg</td> <td>約270 kg</td> <td>約270 kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">燃料集合体1体の仕様</td> <td>初期濃縮度</td> <td>3.3 wt%以下</td> <td>3.3 wt%以下</td> <td>3.67 wt%以下</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(注1)</td> <td>40,000 Mwd/t以下</td> <td>40,000 Mwd/t以下</td> <td>50,000 Mwd/t以下</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>22年以上</td> <td>12年以上</td> <td>12年以上^(注2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">金属キャスク1基当たりの仕様</td> <td>収納体数</td> <td colspan="3">52体</td> </tr> <tr> <td>平均燃焼度^(注3)</td> <td>34,000 Mwd/t以下</td> <td>38,000 Mwd/t以下</td> <td>43,000 Mwd/t以下</td> </tr> <tr> <td>崩壊熱量</td> <td>8.6 kW以下</td> <td>13.7 kW以下</td> <td>13.7 kW以下</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 最高燃焼度とは、収納する燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。</p> <p>(注2) ピーキングファクターの差異により13年以上の場合がある。</p> <p>(注3) 平均燃焼度とは、収納する全燃料集合体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。</p>	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	形 集 合 体 幅	約132 mm又は約134 mm	約132 mm又は約134 mm	約132 mm又は約134 mm	状 全 長	約4,350 mm又は約4,470 mm	約4,350 mm又は約4,470 mm	約4,350 mm又は約4,470 mm	質 量	約270 kg	約270 kg	約270 kg	燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度	3.3 wt%以下	3.3 wt%以下	3.67 wt%以下	最高燃焼度 ^(注1)	40,000 Mwd/t以下	40,000 Mwd/t以下	50,000 Mwd/t以下	冷却期間	22年以上	12年以上	12年以上 ^(注2)	金属キャスク1基当たりの仕様	収納体数	52体			平均燃焼度 ^(注3)	34,000 Mwd/t以下	38,000 Mwd/t以下	43,000 Mwd/t以下	崩壊熱量	8.6 kW以下	13.7 kW以下	13.7 kW以下		<p>6.2 設計仕様</p> <p>*3：以下の燃料を貯蔵する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。</p> <p>a. 新型8×8燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 34,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 22年以上</p> <p>b. 新型8×8ジルコニウムライナ燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 38,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 12年以上</p> <p>c. 高燃焼度8×8燃料のみを収納する場合</p> <p>収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度 50,000Mwd/t以下</p> <p>収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度 43,000Mwd/t以下</p> <p>冷却期間 12年以上</p> <p>d. 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</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の最高燃焼度 40,000Mwd/t以下</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の平均燃焼度 38,000Mwd/t以下</p> <p>収納する新型8×8ジルコニウムライナ燃料の冷却期間 12年以上</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の最高燃焼度 50,000Mwd/t以下</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の平均燃焼度 43,000Mwd/t以下</p> <p>収納する高燃焼度8×8燃料の冷却期間 12年以上</p> <p>なお、使用済燃料集合体をMSF-52B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集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。</p>		<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、MSF-52B型で貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力に対して、設計方針が具体的に記載されていることから、整合している。</p>
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																																																
形 集 合 体 幅	約132 mm又は約134 mm	約132 mm又は約134 mm	約132 mm又は約134 mm																																																
状 全 長	約4,350 mm又は約4,470 mm	約4,350 mm又は約4,470 mm	約4,350 mm又は約4,470 mm																																																
質 量	約270 kg	約270 kg	約270 kg																																																
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度	3.3 wt%以下	3.3 wt%以下	3.67 wt%以下																																															
	最高燃焼度 ^(注1)	40,000 Mwd/t以下	40,000 Mwd/t以下	50,000 Mwd/t以下																																															
	冷却期間	22年以上	12年以上	12年以上 ^(注2)																																															
金属キャスク1基当たりの仕様	収納体数	52体																																																	
	平均燃焼度 ^(注3)	34,000 Mwd/t以下	38,000 Mwd/t以下	43,000 Mwd/t以下																																															
崩壊熱量	8.6 kW以下	13.7 kW以下	13.7 kW以下																																																

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (9/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性																																								
<p>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つては、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</p> <p>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</p> <p>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。</p> <table border="0"> <tr> <td>金属キャスクの設計貯蔵期間</td> <td>60年以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵場所</td> <td>貯蔵建屋内</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵姿勢</td> <td>たて置き</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの固縛方式</td> <td>下部トランニオン固縛</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）</td> <td>117t以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの主要寸法</td> <td>全長5.6m以下 外径2.5m以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率</td> <td>100μSv/h以下</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における金属キャスク周囲温度</td> <td>最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度</td> <td>最高温度 65℃</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における地震力</td> <td>水平方向 1.5G 鉛直方向 1.0G</td> </tr> </table>	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	金属キャスクの固縛方式	下部トランニオン固縛	金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）	117t以下	金属キャスクの主要寸法	全長5.6m以下 外径2.5m以下	金属キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/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℃ 最高温度 45℃	貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃	貯蔵区域における地震力	水平方向 1.5G 鉛直方向 1.0G	<p>2.2 設計条件</p> <p>(1) MSF-52B 型の設計条件</p> <p>MSF-52B 型の設計条件は以下のとおりである。</p> <p>a. 設計貯蔵期間は60年とする。</p> <p>b. 金属キャスクの貯蔵場所は貯蔵建屋内とする。</p> <p>c. 金属キャスクの貯蔵姿勢はたて置きとする。</p> <p>d. 金属キャスクの固縛は、床面に固定された貯蔵架台を介した下部トランニオンによる固縛方式とする。</p> <p>e. 金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）は約116tとする。</p> <p>f. 金属キャスクの主要寸法は、全長約5.5m及び外径約2.4mとする。</p> <p>g. 金属キャスクの最大崩壊熱量は13.7kW/基とする。</p> <p>i. 金属キャスク表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下及び100μSv/h以下とする。</p> <p>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℃及び45℃とする。</p> <p>k. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面最高温度は65℃とする。</p> <p>l. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面ふく射率は0.8とする。</p> <p>m. 貯蔵区域における金属キャスク配列ピッチ寸法は3.5mとする。</p> <p>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1.5G及び1.0Gとする。</p>	<p>8 型式設計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つては、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る使用済燃料貯蔵施設の範囲</p> <p>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。</p> <table border="0"> <tr> <td>金属キャスクの設計貯蔵期間</td> <td>60年以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵場所</td> <td>貯蔵建屋内</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵姿勢</td> <td>たて置き</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの固縛方式</td> <td>下部トランニオン固縛</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）</td> <td>117t以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの主要寸法</td> <td>全長5.6m以下 外径2.5m以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの表面から1m離れた位置における線量当量率</td> <td>100μSv/h以下</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における金属キャスク周囲温度</td> <td>最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度</td> <td>最高温度 65℃</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における地震力</td> <td>水平方向1.5G 鉛直方向1.0G</td> </tr> </table>	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	金属キャスクの固縛方式	下部トランニオン固縛	金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）	117t以下	金属キャスクの主要寸法	全長5.6m以下 外径2.5m以下	金属キャスクの表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/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℃ 最高温度 45℃	貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃	貯蔵区域における地震力	水平方向1.5G 鉛直方向1.0G		<p>型式証明変更申請書（本文）第五号において、型式指定変更承認申請書の内容は、以下のとおり満足している。</p> <p>型式証明変更申請書「添付書類1」に記載される、MSF-52B 型の設計条件に相当する内容を、MSF-52B 型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として記載しており、整合している。</p>
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																																											
金属キャスクの固縛方式	下部トランニオン固縛																																											
金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）	117t以下																																											
金属キャスクの主要寸法	全長5.6m以下 外径2.5m以下																																											
金属キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/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℃ 最高温度 45℃																																											
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃																																											
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.5G 鉛直方向 1.0G																																											
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																																											
金属キャスクの固縛方式	下部トランニオン固縛																																											
金属キャスクの全質量（使用済燃料集合体を含む）	117t以下																																											
金属キャスクの主要寸法	全長5.6m以下 外径2.5m以下																																											
金属キャスクの表面から1m離れた位置における線量当量率	100μSv/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℃ 最高温度 45℃																																											
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃																																											
貯蔵区域における地震力	水平方向1.5G 鉛直方向1.0G																																											

型式証明を受けた設計との整合性に関する説明書 (10/10)

型式証明変更申請書「本文」	型式証明変更申請書「添付書類1」該当事項	型式指定変更承認申請書「本文」該当事項	型式指定変更承認申請書「添付書類」該当事項	整合性
<p>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</p> <p>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。</p> <p>イ、MSF-52B型に収納する使用済燃料集合体の反応度が、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集合体がある反応度を超えないこと。</p> <p>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、MSF-52B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。</p> <p>ハ、MSF-52B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。</p> <p>ニ、MSF-52B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留まる範囲で耐え得る設計であること。</p> <p>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MSF-52B型の基本的安全機能が損なわれないこと。</p> <p>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。</p>		<p>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</p> <p>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。</p> <p>(1) MSF-52B型に収納する使用済燃料集合体の反応度が、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集合体がある反応度を超えないこと。</p> <p>(2) 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、MSF-52B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。</p> <p>(3) MSF-52B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。</p> <p>(4) MSF-52B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留まる範囲で耐え得る設計であること。</p> <p>(5) 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MSF-52B型の基本的安全機能が損なわれないこと。</p>		<p>型式証明変更申請書「本文」に記載される、設計最大評価事故時の放射線障害の防止に関しては、型式指定変更承認申請の範囲外である。</p>

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. 概要	1
2. MSF-52B 型の臨界防止設計	2
2.1 設計基準	2
2.2 評価方法	2
2.3 評価対象燃料	2
2.4 評価条件	2
2.5 評価結果	5
3. 引用文献	12

図表目次

第 2-1 図	臨界解析モデル 乾燥状態 (縦断面図)	6
第 2-2 図	臨界解析モデル 乾燥状態 (燃料領域横断面図)	7
第 2-3 図	臨界解析モデル 冠水状態 (縦断面図)	8
第 2-4 図	臨界解析モデル 冠水状態 (燃料領域横断面図)	9
第 2-5 図	燃料集合体内燃料棒配置 乾燥状態	10
第 2-6 図	燃料集合体内燃料棒配置 冠水状態	11
第 2-1 表	臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様	4
第 2-2 表	臨界解析条件	4
第 2-3 表	臨界解析結果	5

1. 概要

本書は、MSF-52B 型に収納した使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを説明するものである。

2. MSF-52B 型の臨界防止設計

MSF-52B 型に収納した使用済燃料が臨界に達するおそれがないように、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を設け、バスケット格子の適切な位置に中性子吸収材を配置し、そのバスケット格子の中に使用済燃料を収納する。臨界評価によって、MSF-52B 型の中性子実効増倍率が設計基準値以下となり、MSF-52B 型に収納した使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを確認する。

2.1 設計基準

MSF-52B 型の設計基準は、使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び使用済燃料集合体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にも、中性子実効増倍率 (k_{eff}) が 0.95 以下とする。

2.2 評価方法

MSF-52B 型の中性子実効増倍率は、第 2-1 図から第 2-4 図に示した MSF-52B 型の実形状を模擬した三次元臨界解析モデルを用いて、臨界解析コードを使用して求める。

臨界解析には、SCALE4.4a 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 コードを用いる。

均質化した燃料集合体領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI、NITAWL-II 及び一次元輸送計算コード XSDRNPM を用い、核データライブラリは SCALE4.4a コードシステムの内蔵ライブラリデータの一つである 238 群ライブラリデータを用いる。

燃料は、単位燃料棒の形状を一次元円柱でモデル化し、XSDRNPM コードを用いて、238 群の群定数へ均質化する。この均質化した燃料によって燃料集合体をモデル化し、KENO-V.a コードを用いて MSF-52B 型の中性子実効増倍率を算出する。

2.3 評価対象燃料

MSF-52B 型に収納する使用済燃料集合体は第 2-1 表に示すように、新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料であるが、最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料を臨界評価対象とする。

2.4 評価条件

臨界解析モデルでは以下に示すように臨界評価上厳しい条件を設定する。

- (1) MSF-52B 型に収納する使用済燃料集合体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し、第 2-5 図に示す使用済燃料集合体を用いる。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、第 2-6 図に示すように濃縮度の異なる 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。

- (2) MSF-52B 型が無限に配列している体系とし、中性子遮蔽材は真空とすることで、MSF-52B 型相互の中性子干渉を考慮する。
- (3) MSF-52B 型内のバスケット格子周囲には中性子吸収材が配置されているが、中性子の吸収が小さくなるように、中性子吸収材のほう素添加量を仕様上の下限値とする。なお、設計貯蔵期間（60 年間）経過後の中性子吸収材中のほう素の減損割合は、保守的に全中性子束を用いて評価しても 10^{-5} 程度であり影響は無視できる。
- (4) バスケット格子板厚、中性子吸収材板厚及びバスケット格子内のりは公差を考慮する。
- (5) バスケット格子及び中性子吸収材は、中性子の吸収が小さくなるように、実在する部分は燃料有効部に相当する部分のみと仮定し、それ以外の部分は無視する。
- (6) バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように、MSF-52B 型中心側に偏向して配置された状態を仮定する。
- (7) MSF-52B 型は、内部を真空乾燥し、ヘリウムが封入されて貯蔵されるが、乾燥状態の臨界評価では MSF-52B 型内部は真空とする。また、冠水状態の臨界評価では MSF-52B 型内の水密度を 1.0 g/cm^3 とする。

上記臨界解析条件を第 2-2 表に示す。

第 2-1 表 臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様

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	cm			
燃料有効長	cm			
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%	3.3 以下	3.3 以下	3.67 以下

第 2-2 表 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		3.67wt%	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		52 体	
燃料配置		MSF-52B 型中心偏向配置	
寸法 条件	バスケット格子板厚	<input type="text"/> cm (最小)	<input type="text"/> cm (最大)
	バスケット格子内のり	<input type="text"/> cm (最小)	<input type="text"/> cm (最小)
	中性子吸収材板厚	<input type="text"/> cm (最小)	<input type="text"/> cm (最小)
MSF-52B 型内雰囲気		真空	冠水
MSF-52B 型外雰囲気		真空	
MSF-52B 型配列		無限配列 (完全反射境界条件)	
ほう素添加量		中性子吸収材に含まれるほう素添加量を仕様上の下限値に設定 (^{10}B 面密度 <input type="text"/> g/cm^2)	
チャンネルボックス		無し	有り
中性子遮蔽材		真空中に置換	

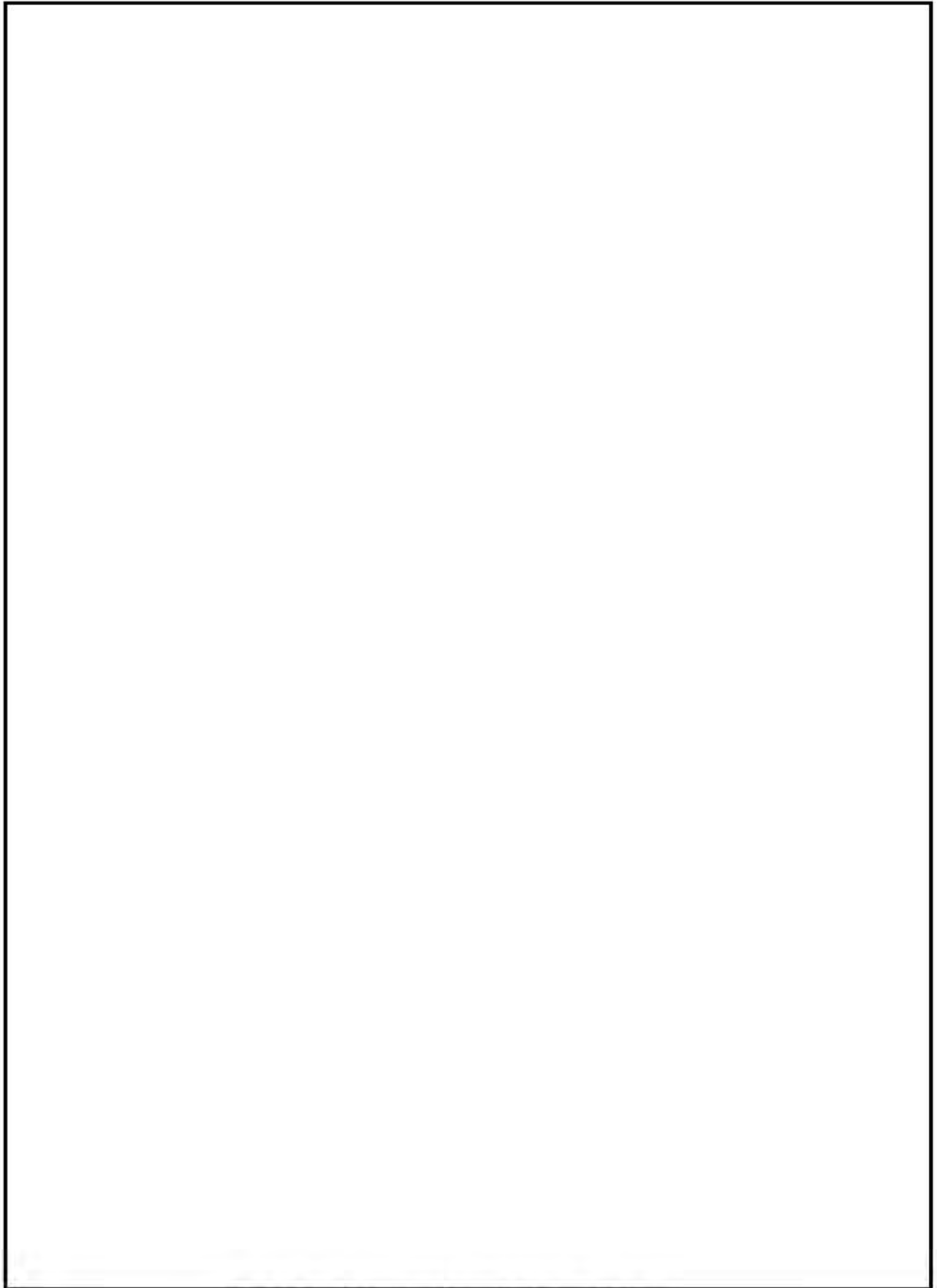
2.5 評価結果

MSF-52B 型の臨界解析結果は、第 2-3 表 に示すとおりであり、中性子実効増倍率は設計基準を満足している。

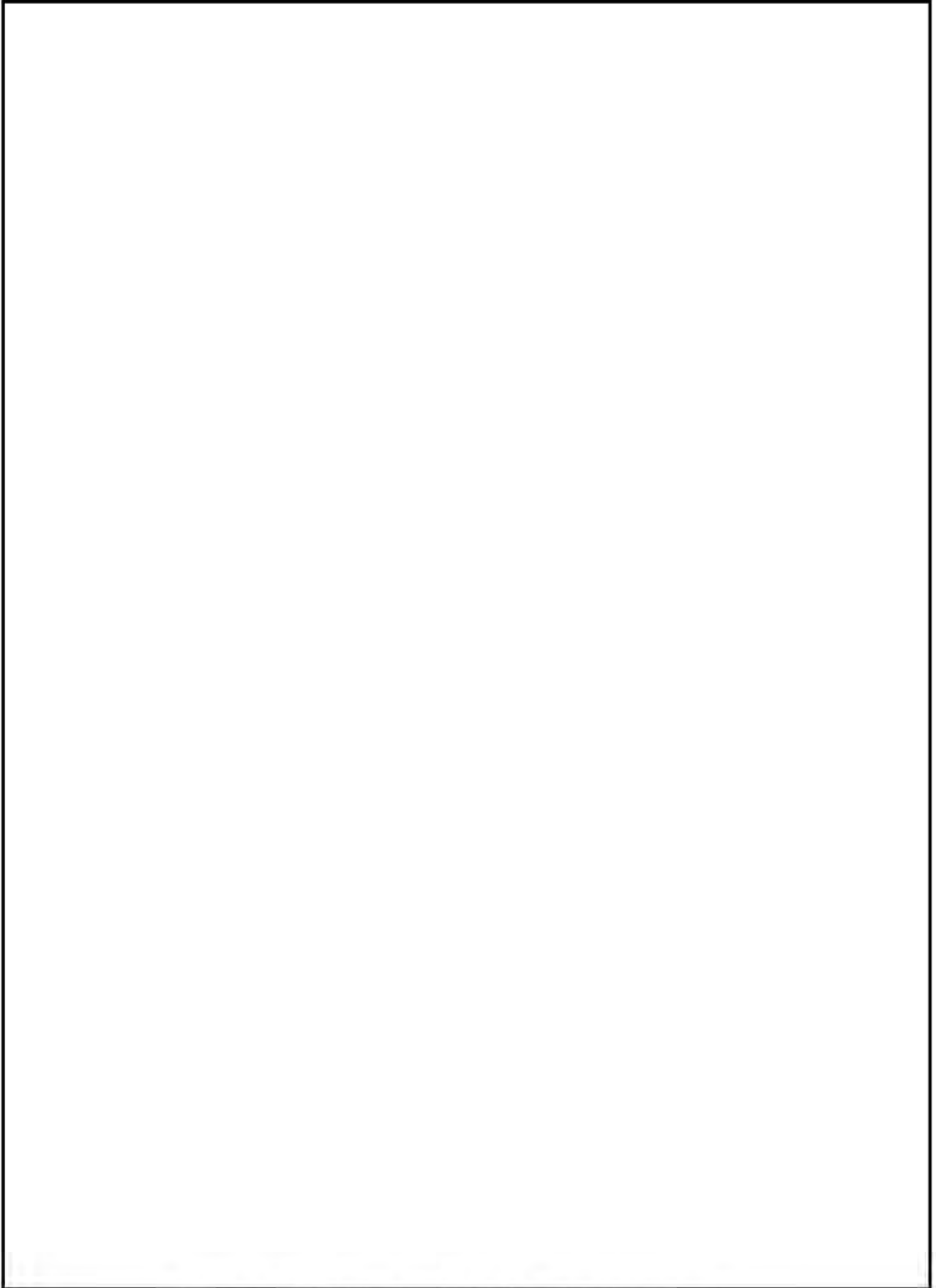
第 2-3 表 臨界解析結果

項 目	中性子実効増倍率*1	設計基準値
解析結果（乾燥）	0.35167 ($\sigma = 0.00030$)	0.95 以下
解析結果（冠水）	0.81641 ($\sigma = 0.00075$)	

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 ($k_{eff} + 3\sigma$) とする。



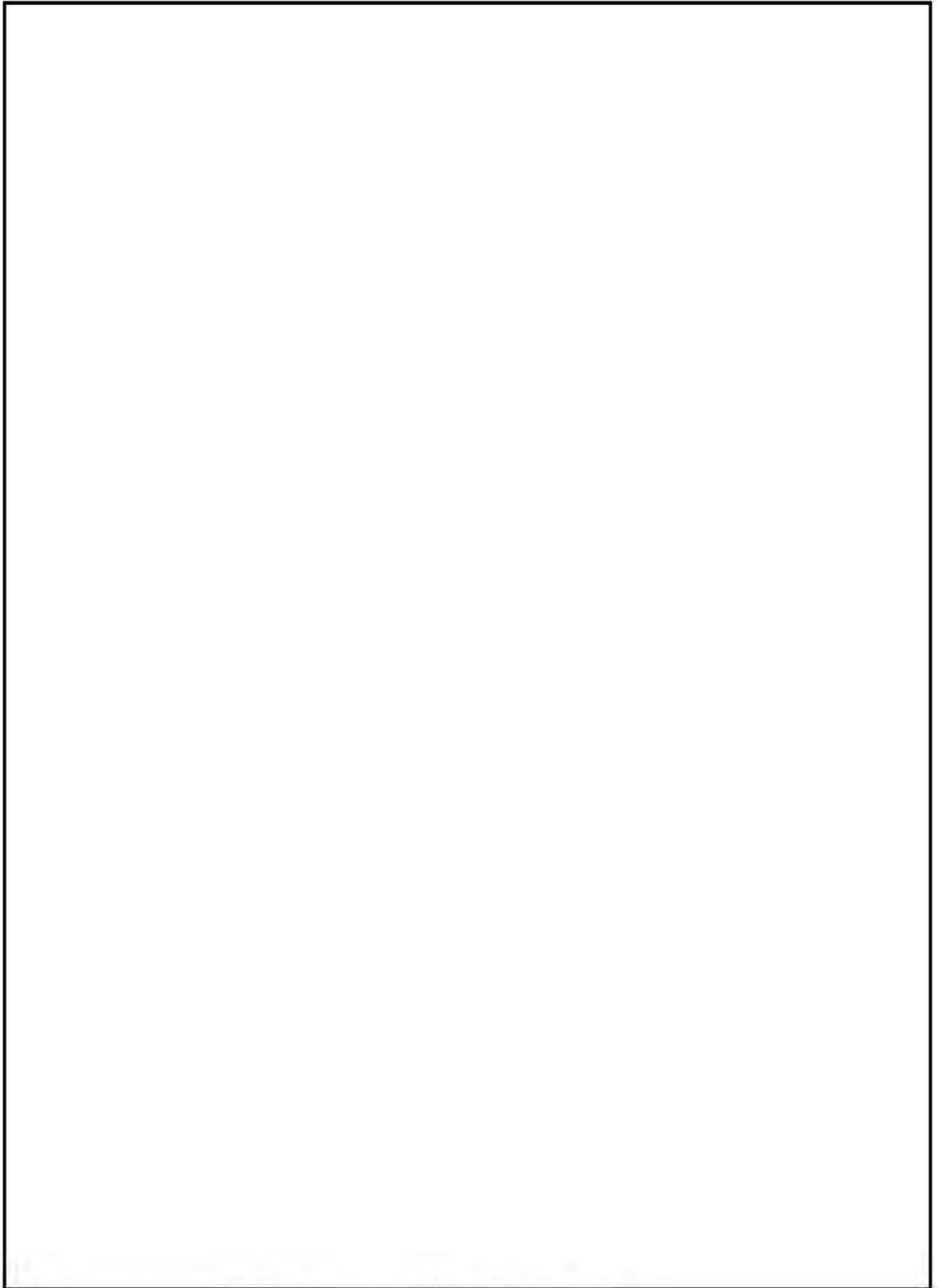
第 2-1 図 臨界解析モデル 乾燥状態 (縦断面図)



第 2-2 図 臨界解析モデル 乾燥状態 (燃料領域横断面図)

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

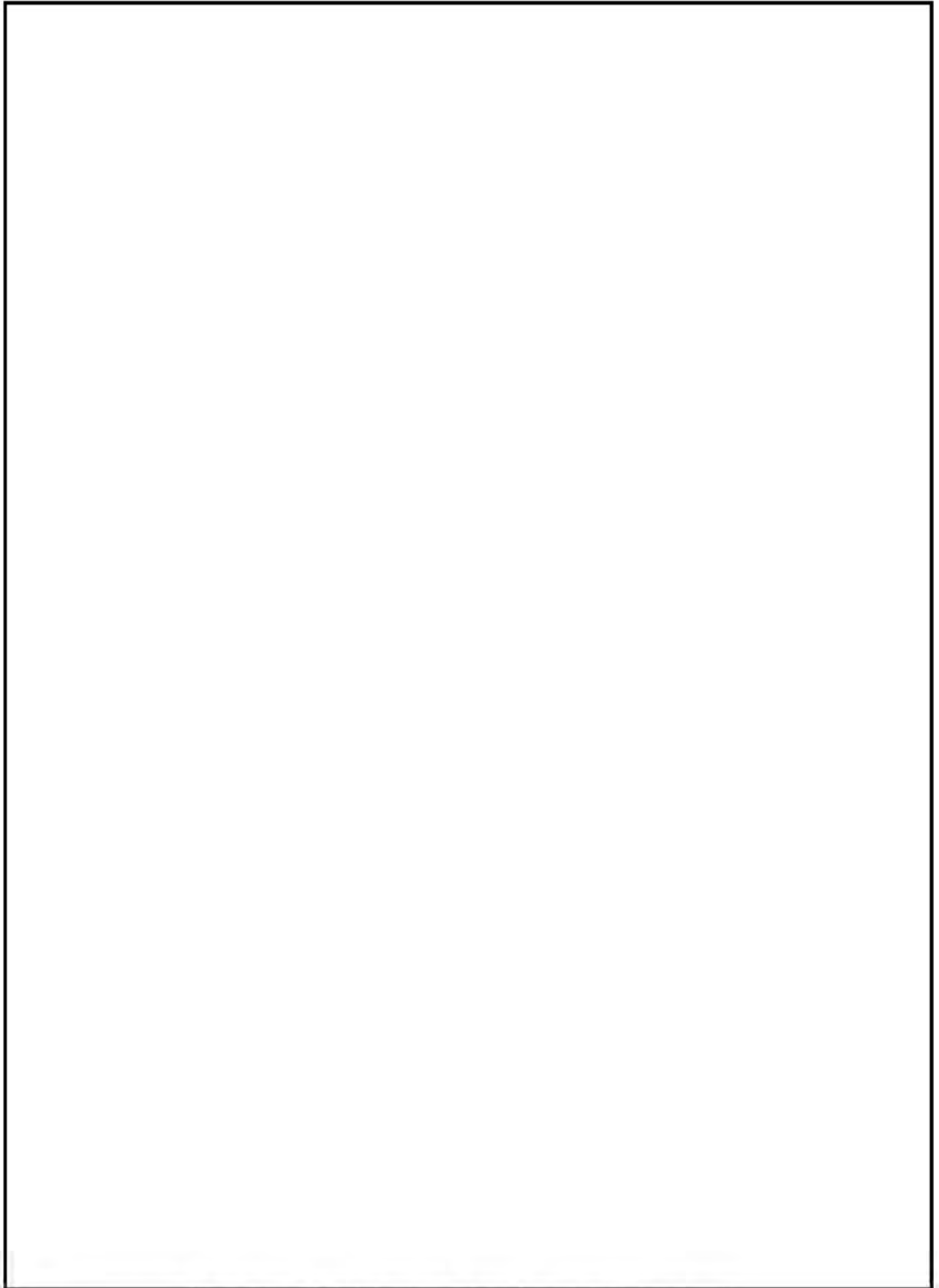
□内は商業機密のため、非公開とします。



第 2-3 図 臨界解析モデル 冠水状態 (縦断面図)

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

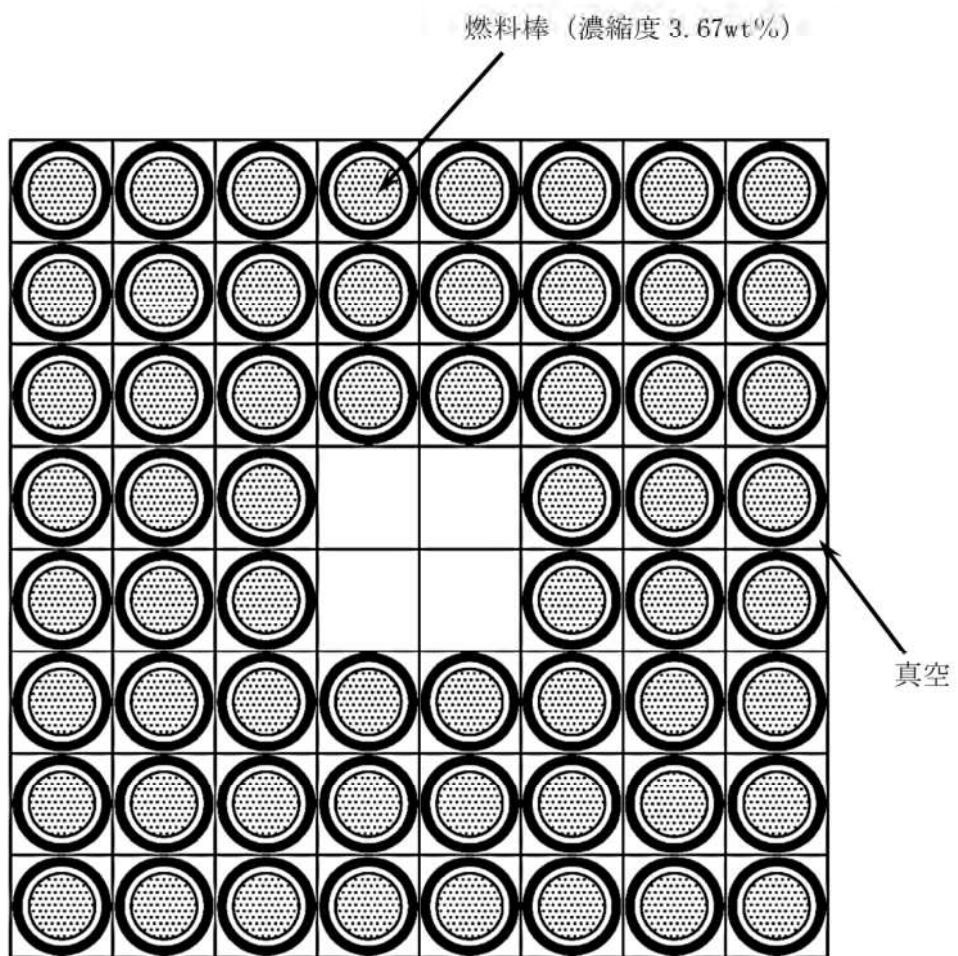
□内は商業機密のため、非公開とします。



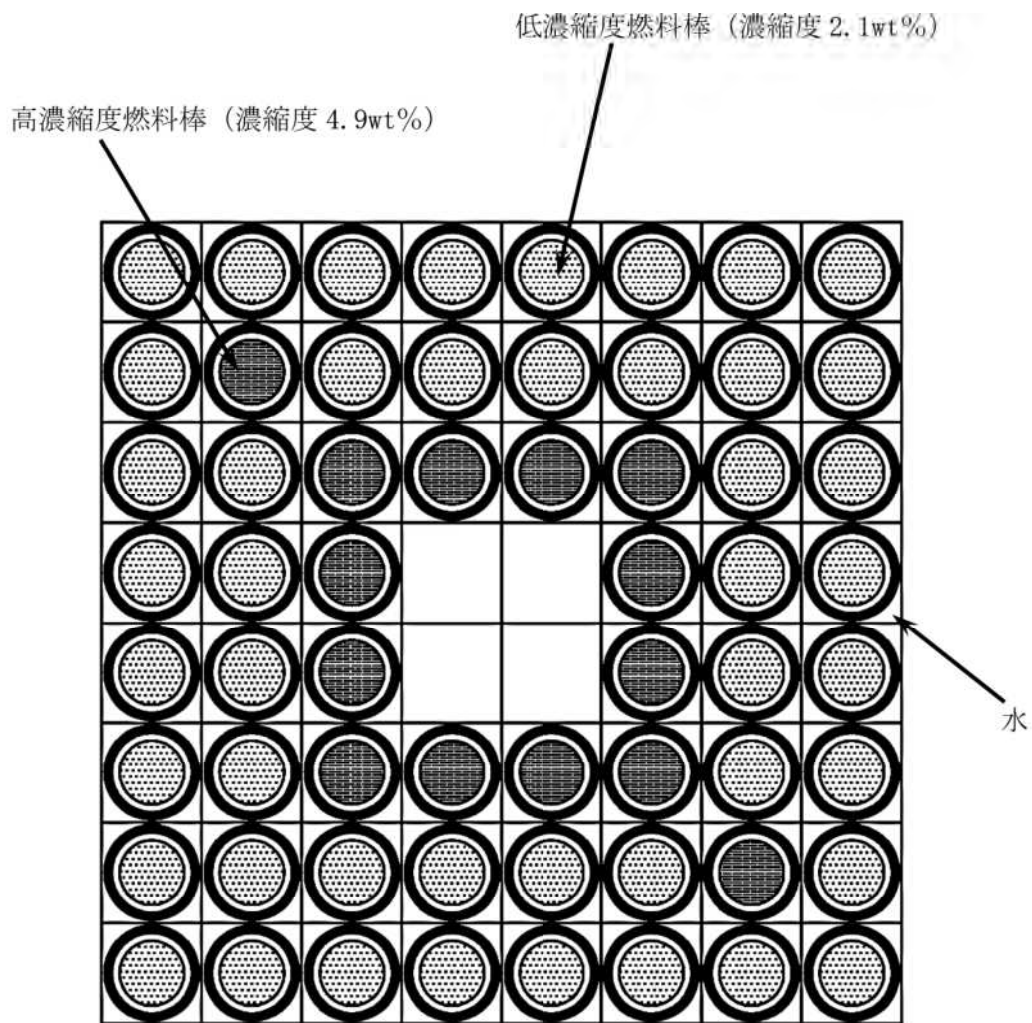
第 2-4 図 臨界解析モデル 冠水状態 (燃料領域横断面図)

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

□内は商業機密のため、非公開とします。



第 2-5 図 燃料集合体内燃料棒配置 乾燥状態



第 2-6 図 燃料集合体内燃料棒配置 冠水状態

3. 引用文献

- (1) Oak Ridge National Laboratory, “SCALE : A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation” , NUREG/CR-0200 (2000)

添付書類 3 放射線の遮蔽に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. MSF-52B 型の遮蔽設計	2
2.1 設計基準	2
2.2 評価方法	2
2.3 評価対象燃料	2
2.4 評価条件	3
2.4.1 線源条件	3
2.4.2 線源強度及びエネルギー	4
2.4.3 中性子遮蔽材の経年変化の考慮について	15
2.5 評価結果	15
3. 引用文献	16

図表目次

第 2-1 図 MSF-52B 型遮蔽解析モデル (頭部)	13
第 2-2 図 MSF-52B 型遮蔽解析モデル (底部)	14
第 2-1 表 線源条件	3
第 2-2 表 ガンマ線源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)	4
第 2-3 表 構造材の放射化によるガンマ線源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)	5
第 2-4 表 中性子源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)	6
第 2-5 表 中性子エネルギースペクトル (DLC-23/CASK ライブラリ)	7
第 2-6 表 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)	8
第 2-7 表 線量当量率の評価結果 (DLC-23/CASK ライブラリ)	15
第 2-8 表 線量当量率の評価結果 (MATXSLIB-J33 ライブラリ)	15

1. 概要

本書は、設計貯蔵期間（60年間）における遮蔽材の経年変化を考慮しても、MSF-52B型が放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有することを説明するものである。

2. MSF-52B 型の遮蔽設計

MSF-52B 型は、一般公衆及び放射線業務従事者に対して、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料集合体から放出される放射線を遮蔽する。ガンマ線遮蔽材には、十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水素を多く含有するレジンを用いる。遮蔽評価によって、MSF-52B 型表面及び MSF-52B 型表面から 1 m 離れた位置の線量当量率が設計基準値以下となり、MSF-52B 型が放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有することを確認する。

2.1 設計基準

MSF-52B 型の設計基準は、遮蔽材の設計貯蔵期間中の経年変化を考慮しても、MSF-52B 型表面の最大線量当量率が 2 mSv/h 以下及び MSF-52B 型表面から 1 m 離れた位置の線量当量率が 100 μ Sv/h 以下とする。

2.2 評価方法

MSF-52B 型の遮蔽解析においては、遮蔽材の最小厚さを考慮し、MSF-52B 型の実形状を軸方向断面に二次元でモデル化する。

MSF-52B 型の遮蔽解析モデルを第 2-1 図及び第 2-2 図に示す。なお、上部と下部のトランニオン周辺については、当該部近傍の線束から遮蔽評価を行う。

遮蔽計算はガンマ線、中性子共に DOT3.5 コード⁽¹⁾により遮蔽材を透過したガンマ線及び中性子の線束を計算し、MSF-52B 型表面及び表面から 1 m 離れた位置の線量当量率を求める。

また、二次ガンマ線の効果についても DOT3.5 コードにより中性子が遮蔽材内で吸収される際に発生する二次ガンマ線の線束を計算し、MSF-52B 型表面及び表面から 1 m 離れた位置の線量当量率を求める。

ライブラリとしては DLC-23/CASK データ⁽²⁾及び JENDL-3.3 に基づく MATXSLIB-J33 データ⁽³⁾を用い、線量当量率への変換は ICRP Pub. 74⁽⁴⁾に基づく。

2.3 評価対象燃料

MSF-52B 型に収納する使用済燃料集合体のうち、最も線源強度の高い高燃焼度 8 × 8 燃料を対象として遮蔽解析を実施する。

2.4 評価条件

2.4.1 線源条件

MSF-52B 型の収納物の線源条件を第 2-1 表に示す。

MSF-52B 型の中心領域に 32 体の最高燃焼度燃料を配置し、外周領域には 20 体の平均燃焼度燃料を配置する条件とする。線源強度の計算には、使用済燃料集合体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。

第 2-1 表 線源条件

項 目		高燃焼度 8×8 燃料 (仕様 A)	高燃焼度 8×8 燃料 (仕様 B)
最高燃焼度 (MWd/t)		50,000	50,000
平均燃焼度 (MWd/t)		43,000	43,000
比出力 (MW/t)			
照射 期間 (日)	最高燃焼度		
	平均燃焼度		
	チャンネル ボックス		
濃縮度 (wt%)			
冷却期間 (年)		12	13
ウラン質量 (kg)			
(上部)			
ピーキング ファクター*1			
(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。

2.4.2 線源強度及びエネルギー

(1) ガンマ線源強度

使用済燃料のガンマ線源強度の計算は ORIGEN2 コード⁽⁵⁾により行う。得られたガンマ線源強度を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 ガンマ線源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)

エネルギー群	上限 エネルギー (MeV)	線源強度 (photons/s)	
		高燃焼度 8×8 燃料 (仕様 A)	高燃焼度 8×8 燃料 (仕様 B)
1	0.02	2.4×10^{16}	2.4×10^{16}
2	0.03	4.9×10^{15}	4.8×10^{15}
3	0.045	6.6×10^{15}	6.5×10^{15}
4	0.07	4.8×10^{15}	4.7×10^{15}
5	0.1	2.8×10^{15}	2.8×10^{15}
6	0.15	3.0×10^{15}	2.9×10^{15}
7	0.3	2.3×10^{15}	2.3×10^{15}
8	0.45	1.0×10^{15}	9.8×10^{14}
9	0.7	4.5×10^{16}	4.4×10^{16}
10	1.0	3.3×10^{15}	2.8×10^{15}
11	1.5	1.7×10^{15}	1.6×10^{15}
12	2.0	5.1×10^{13}	4.8×10^{13}
13	2.5	1.7×10^{11}	8.4×10^{10}
14	3.0	2.4×10^{10}	1.7×10^{10}
15	4.0	3.9×10^9	2.9×10^9
16	6.0	8.1×10^8	8.0×10^8
17	8.0	9.3×10^7	9.3×10^7
18	11.0	1.1×10^7	1.1×10^7
合計		1.0×10^{17}	9.8×10^{16}

使用済燃料集合体の構造材の放射化によるガンマ線源強度は、次式で計算する。

$$A = N_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$$

ここで、

- A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq)
- N_0 : ターゲット核種 (^{59}Co) の個数 (atoms)
- σ : 2200m/s の中性子による ^{59}Co の (n, γ) 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
- T_1 : 照射期間 (日)
- T_2 : 冷却期間 (日)

である。

得られた使用済燃料集合体の構造材の放射化によるガンマ線源強度について第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 構造材の放射化によるガンマ線源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)

	線源強度 (^{60}Co Bq)	
	高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 A)	高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 B)
上部タイプレートハンドル部	2.8×10^{12}	2.5×10^{12}
上部タイプレートグリッド部	3.5×10^{13}	3.1×10^{13}
上部プレナム部	1.3×10^{14}	1.1×10^{14}
下部タイプレート部	7.9×10^{13}	6.9×10^{13}
合計	2.5×10^{14}	2.2×10^{14}

(2) 中性子源強度

使用済燃料から自発核分裂及び (α , n) 反応により発生する中性子 (一次中性子) の線源強度の計算は ORIGEN2 コードにより行う。

また、体系の増倍効果を考慮し、全中性子源強度 (N_s) を次式で求める。

$$N_s = N_0 / (1 - k_{eff})$$

ここで、

N_0 : MSF-52B 型 1 基当たりの一次中性子源強度

k_{eff} : 使用済燃料貯蔵状態における実効増倍率 (「添付書類 2 使用済燃料の臨界防止に関する説明書」の臨界解析モデルにおいて、燃焼を考慮した核種組成を用いて算出した結果)

得られた中性子源強度を第 2-4 表に示す。

上記の中性子源強度のうち大部分は、 ^{244}Cm の自発核分裂線源と、増倍による ^{235}U 、 ^{239}Pu の核分裂線源であり、(α , n) 反応による線源はわずかである。このため、計算に用いる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。計算に使用する DLC-23/CASK ライブラリの中性子 22 群構造のエネルギースペクトルを第 2-5 表に示す。また、JENDL-3.3 に基づく MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子 175 群構造のエネルギースペクトルを第 2-6 表に示す。

第 2-4 表 中性子源強度 (MSF-52B 型 1 基当たり)

		中性子源強度	
		高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 A)	高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 B)
一次中性子源強度 N_0 (neutrons/s)	自発核分裂によるもの	1.8×10^{10}	1.8×10^{10}
	(α , n) 反応によるもの	2.4×10^8	2.4×10^8
	合計	1.9×10^{10}	1.9×10^{10}
実効増倍率 (k_{eff})		0.25	0.25
増倍効果を考慮した全中性子源強度 N_s (neutrons/s)		2.5×10^{10}	2.5×10^{10}

第2-5表 中性子エネルギースペクトル (DLC-23/CASK ライブラリ)

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

注記*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。

第2-6表 (1/5) 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	スペクトル *1
1	1.9640×10^7	0.0
2	1.7333×10^7	7.1068×10^{-6}
3	1.6905×10^7	7.1168×10^{-6}
4	1.6487×10^7	2.3679×10^{-5}
5	1.5683×10^7	3.8351×10^{-5}
6	1.4918×10^7	2.6859×10^{-5}
7	1.4550×10^7	3.3510×10^{-5}
8	1.4191×10^7	4.1648×10^{-5}
9	1.3840×10^7	5.1106×10^{-5}
10	1.3499×10^7	1.3919×10^{-4}
11	1.2840×10^7	1.0178×10^{-4}
12	1.2523×10^7	1.0173×10^{-4}
13	1.2214×10^7	2.9166×10^{-4}
14	1.1618×10^7	4.0815×10^{-4}
15	1.1052×10^7	5.6132×10^{-4}
16	1.0513×10^7	7.5714×10^{-4}
17	1.0000×10^7	1.0017×10^{-3}
18	9.5123×10^6	1.3031×10^{-3}
19	9.0484×10^6	1.6677×10^{-3}
20	8.6071×10^6	2.1011×10^{-3}
21	8.1873×10^6	2.6077×10^{-3}
22	7.7880×10^6	3.1908×10^{-3}
23	7.4082×10^6	3.8525×10^{-3}
24	7.0469×10^6	4.5922×10^{-3}
25	6.7032×10^6	1.7082×10^{-3}
26	6.5924×10^6	3.6982×10^{-3}
27	6.3763×10^6	6.2932×10^{-3}
28	6.0653×10^6	7.2431×10^{-3}
29	5.7695×10^6	8.2509×10^{-3}
30	5.4881×10^6	9.3018×10^{-3}
31	5.2205×10^6	1.0392×10^{-2}
32	4.9659×10^6	1.1505×10^{-2}
33	4.7237×10^6	1.2627×10^{-2}
34	4.4933×10^6	2.8588×10^{-2}
35	4.0657×10^6	3.2856×10^{-2}

注記*1: ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子
175 群構造に振り分けたものである。

第2-6表 (2/5) 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	スペクトル *1
36	3.6788×10^6	3.6741×10^{-2}
37	3.3287×10^6	1.9654×10^{-2}
38	3.1664×10^6	2.0424×10^{-2}
39	3.0119×10^6	2.1082×10^{-2}
40	2.8650×10^6	2.1652×10^{-2}
41	2.7253×10^6	2.2135×10^{-2}
42	2.5924×10^6	2.2516×10^{-2}
43	2.4660×10^6	1.5172×10^{-2}
44	2.3852×10^6	3.8325×10^{-3}
45	2.3653×10^6	3.8122×10^{-3}
46	2.3457×10^6	7.6572×10^{-3}
47	2.3069×10^6	1.5347×10^{-2}
48	2.2313×10^6	2.3101×10^{-2}
49	2.1225×10^6	2.3115×10^{-2}
50	2.0190×10^6	2.3053×10^{-2}
51	1.9205×10^6	2.2901×10^{-2}
52	1.8268×10^6	2.2666×10^{-2}
53	1.7377×10^6	2.2355×10^{-2}
54	1.6530×10^6	2.2004×10^{-2}
55	1.5724×10^6	2.1598×10^{-2}
56	1.4957×10^6	2.1145×10^{-2}
57	1.4227×10^6	2.0594×10^{-2}
58	1.3534×10^6	2.0103×10^{-2}
59	1.2873×10^6	1.9470×10^{-2}
60	1.2246×10^6	1.8918×10^{-2}
61	1.1648×10^6	1.8267×10^{-2}
62	1.1080×10^6	3.4600×10^{-2}
63	1.0026×10^6	1.3667×10^{-2}
64	9.6164×10^5	1.8336×10^{-2}
65	9.0718×10^5	1.5015×10^{-2}
66	8.6294×10^5	1.4367×10^{-2}
67	8.2085×10^5	1.3721×10^{-2}
68	7.8082×10^5	1.3089×10^{-2}
69	7.4274×10^5	1.2471×10^{-2}
70	7.0651×10^5	1.1860×10^{-2}

注記*1: ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子
175 群構造に振り分けたものである。

第2-6表 (3/5) 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	スペクトル *1
71	6.7206×10^5	1.1273×10^{-2}
72	6.3928×10^5	1.0699×10^{-2}
73	6.0810×10^5	1.0143×10^{-2}
74	5.7844×10^5	9.6048×10^{-3}
75	5.5023×10^5	9.0856×10^{-3}
76	5.2340×10^5	8.5905×10^{-3}
77	4.9787×10^5	1.5764×10^{-2}
78	4.5049×10^5	1.4011×10^{-2}
79	4.0762×10^5	6.3973×10^{-3}
80	3.8774×10^5	6.0174×10^{-3}
81	3.6883×10^5	1.0970×10^{-2}
82	3.3373×10^5	9.6698×10^{-3}
83	3.0197×10^5	1.0399×10^{-3}
84	2.9850×10^5	3.8871×10^{-4}
85	2.9720×10^5	7.9979×10^{-4}
86	2.9452×10^5	2.1589×10^{-3}
87	2.8725×10^5	4.1145×10^{-3}
88	2.7324×10^5	7.4626×10^{-3}
89	2.4724×10^5	3.3784×10^{-3}
90	2.3518×10^5	3.1601×10^{-3}
91	2.2371×10^5	2.9551×10^{-3}
92	2.1280×10^5	2.7629×10^{-3}
93	2.0242×10^5	2.5808×10^{-3}
94	1.9255×10^5	2.4112×10^{-3}
95	1.8316×10^5	2.2536×10^{-3}
96	1.7422×10^5	2.1003×10^{-3}
97	1.6573×10^5	1.9635×10^{-3}
98	1.5764×10^5	1.8282×10^{-3}
99	1.4996×10^5	1.7085×10^{-3}
100	1.4264×10^5	1.5902×10^{-3}
101	1.3569×10^5	1.4845×10^{-3}
102	1.2907×10^5	1.3841×10^{-3}
103	1.2277×10^5	1.2870×10^{-3}
104	1.1679×10^5	1.2015×10^{-3}
105	1.1109×10^5	2.6529×10^{-3}

注記*1: ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子
175 群構造に振り分けたものである。

第2-6表 (4/5) 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

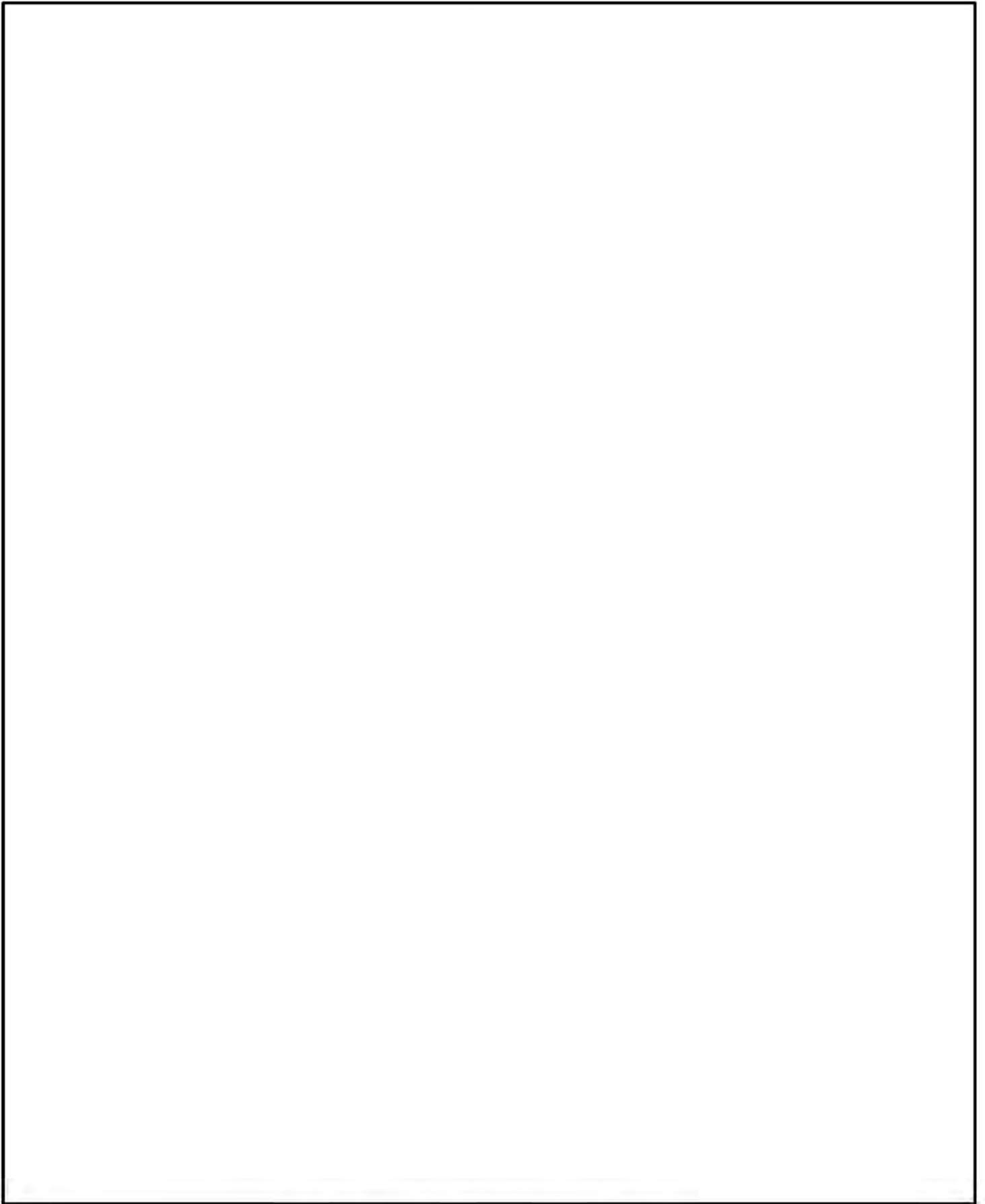
エネルギー群	上限エネルギー (eV)	スペクトル *1
106	9.8037×10^4	2.2188×10^{-3}
107	8.6517×10^4	7.4464×10^{-4}
108	8.2500×10^4	5.4581×10^{-4}
109	7.9500×10^4	1.3244×10^{-3}
110	7.2000×10^4	7.8610×10^{-4}
111	6.7379×10^4	1.7442×10^{-3}
112	5.6562×10^4	6.2161×10^{-4}
113	5.2475×10^4	8.9579×10^{-4}
114	4.6309×10^4	7.4565×10^{-4}
115	4.0868×10^4	8.3838×10^{-4}
116	3.4307×10^4	2.9816×10^{-4}
117	3.1828×10^4	3.8306×10^{-4}
118	2.8500×10^4	1.6590×10^{-4}
119	2.7000×10^4	1.0196×10^{-4}
120	2.6058×10^4	1.3467×10^{-4}
121	2.4788×10^4	6.3727×10^{-5}
122	2.4176×10^4	6.1419×10^{-5}
123	2.3579×10^4	1.7116×10^{-4}
124	2.1875×10^4	2.4606×10^{-4}
125	1.9305×10^4	3.7413×10^{-4}
126	1.5034×10^4	2.5774×10^{-4}
127	1.1709×10^4	7.1002×10^{-5}
128	1.0595×10^4	1.0656×10^{-4}
129	9.1188×10^3	1.2223×10^{-4}
130	7.1017×10^3	8.4112×10^{-5}
131	5.5308×10^3	5.7866×10^{-5}
132	4.3074×10^3	2.5643×10^{-5}
133	3.7074×10^3	1.4160×10^{-5}
134	3.3546×10^3	1.2189×10^{-5}
135	3.0354×10^3	1.0497×10^{-5}
136	2.7465×10^3	4.6848×10^{-6}
137	2.6126×10^3	4.3477×10^{-6}
138	2.4852×10^3	7.7780×10^{-6}
139	2.2487×10^3	6.6958×10^{-6}
140	2.0347×10^3	1.2941×10^{-5}

注記*1: ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子
175 群構造に振り分けたものである。

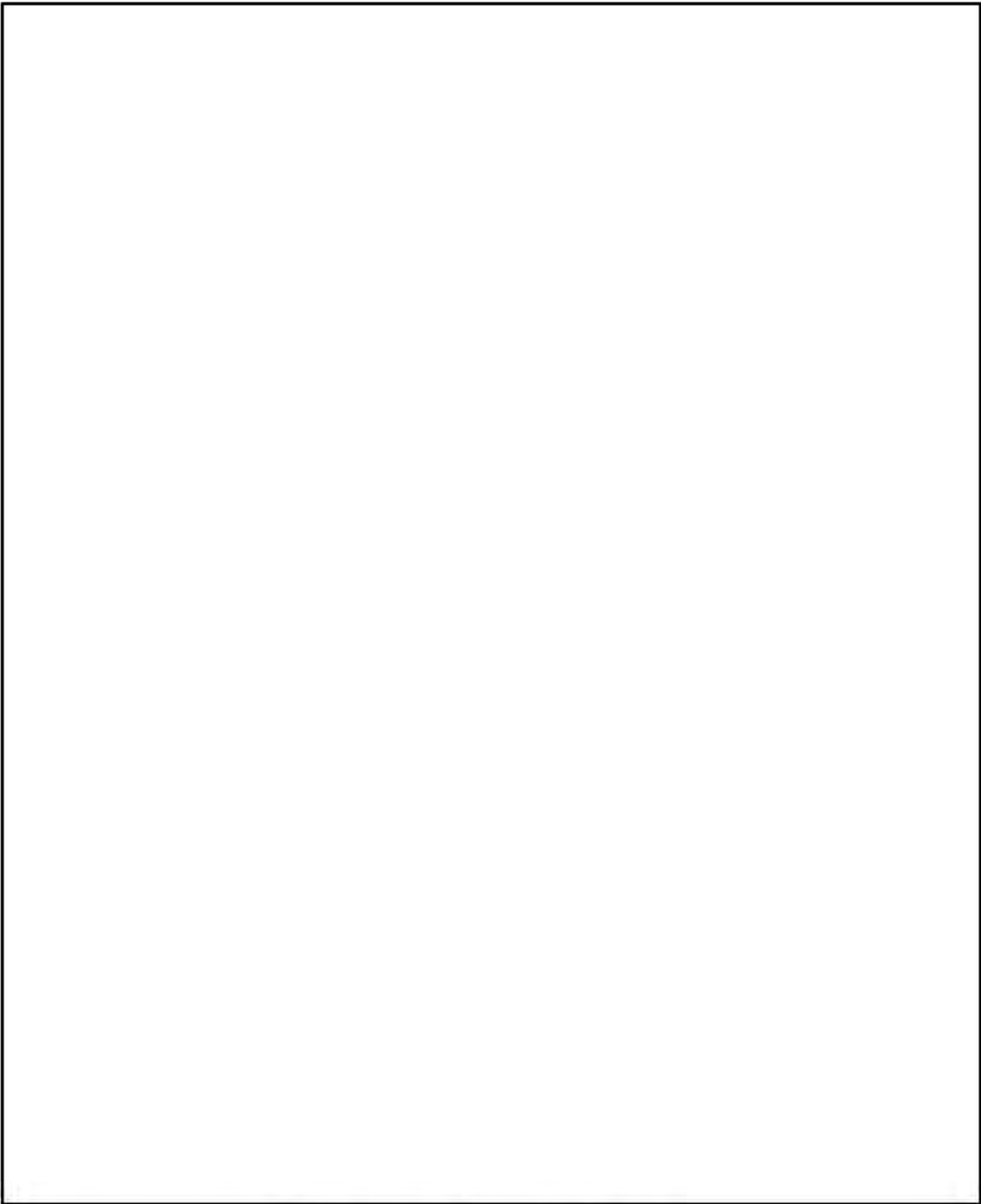
第2-6表 (5/5) 中性子エネルギースペクトル (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	スペクトル *1
141	1.5846×10^3	8.8961×10^{-6}
142	1.2341×10^3	6.1158×10^{-6}
143	9.6112×10^2	4.2041×10^{-6}
144	7.4852×10^2	2.8898×10^{-6}
145	5.8295×10^2	1.9864×10^{-6}
146	4.5400×10^2	1.3652×10^{-6}
147	3.5358×10^2	9.3853×10^{-7}
148	2.7536×10^2	6.4498×10^{-7}
149	2.1445×10^2	4.4325×10^{-7}
150	1.6702×10^2	3.0474×10^{-7}
151	1.3007×10^2	2.0940×10^{-7}
152	1.0130×10^2	1.4393×10^{-7}
153	7.8893×10^1	9.8925×10^{-8}
154	6.1442×10^1	6.7991×10^{-8}
155	4.7851×10^1	4.6727×10^{-8}
156	3.7267×10^1	3.2011×10^{-8}
157	2.9023×10^1	2.2183×10^{-8}
158	2.2603×10^1	1.5172×10^{-8}
159	1.7603×10^1	1.0425×10^{-8}
160	1.3710×10^1	7.1675×10^{-9}
161	1.0677×10^1	4.9253×10^{-9}
162	8.3153×10^0	3.3851×10^{-9}
163	6.4760×10^0	2.3267×10^{-9}
164	5.0435×10^0	1.5990×10^{-9}
165	3.9279×10^0	1.0991×10^{-9}
166	3.0590×10^0	7.6574×10^{-10}
167	2.3824×10^0	5.0871×10^{-10}
168	1.8554×10^0	3.5680×10^{-10}
169	1.4450×10^0	2.4520×10^{-10}
170	1.1254×10^0	1.6858×10^{-10}
171	8.7642×10^{-1}	1.1583×10^{-10}
172	6.8256×10^{-1}	7.9611×10^{-11}
173	5.3158×10^{-1}	5.4719×10^{-11}
174	4.1399×10^{-1}	1.0597×10^{-10}
175	1.0000×10^{-1}	1.4269×10^{-11}

注記*1: ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 ライブラリの中性子
175 群構造に振り分けたものである。



第 2-1 図 MSF-52B 型遮蔽解析モデル (頭部)



第 2-2 図 MSF-52B 型遮蔽解析モデル (底部)

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

内は商業機密のため、非公開とします。

2.4.3 中性子遮蔽材の経年変化の考慮について

MSF-52B 型の構成部材のうち中性子遮蔽材については、「添付書類 8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」に示すように設計貯蔵期間中の経年変化により質量減損が発生するため、遮蔽評価上、保守的に 2.9%の質量減損を考慮する。

2.5 評価結果

MSF-52B 型の遮蔽解析により得られた DLC-23/CASK ライブラリを用いた場合の線量当量率を第 2-7 表に示す。また、JENDL-3.3 に基づく MATXSLIB-J33 ライブラリを用いた場合の線量当量率を第 2-8 表に示す。なお、評価結果は、側部、蓋部、底部における線量当量率の最大値を示している。

本表に示すとおり、MSF-52B 型は設計基準値を満足している。

第 2-7 表 線量当量率の評価結果 (DLC-23/CASK ライブラリ)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

	表面			表面から 1m 離れた位置		
	側部	蓋部	底部	側部	蓋部	底部
高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 A)	925.9	91.8	168.9	74.1	20.9	59.1
高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 B)	941.8	91.9	156.5	72.5	20.6	54.6
設計基準値	2000			100		

第 2-8 表 線量当量率の評価結果 (MATXSLIB-J33 ライブラリ)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

	表面			表面から 1m 離れた位置		
	側部	蓋部	底部	側部	蓋部	底部
高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 A)	1871.5	229.4	299.1	81.5	45.7	66.6
高燃焼度 8 × 8 燃料 (仕様 B)	1907.1	231.5	305.1	80.9	46.1	64.2
設計基準値	2000			100		

3. 引用文献

- (1) ORNL-RSIC, "DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", CCC-276, (1976).
- (2) ORNL-RSIC, "CASK-40 Group Coupled Neutrons and Gamma-ray Cross-section Data", DLC-23, (1973).
- (3) K. Kosako, N. Yamano, T. Fukahori, K. Shibata and A. Hasegawa: "The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3," JAERI-Data/Code 2003-011 (2003).
- (4) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Publication 74, (1987).
- (5) A. G. Croff, "ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, July (1980).

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. 概要	1
2. MSF-52B 型の閉じ込め設計	2
2.1 設計基準	2
2.2 評価方法	2
2.3 評価条件	5
2.4 評価結果	5
3. 引用文献	6

図表目次

第 2-1 表	評価条件	5
第 2-2 表	評価結果	5
第 2-1 図	閉じ込め構造	7
第 2-2 図	閉じ込め監視構造	8
第 2-3 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	9

1. 概要

本書は、MSF-52B 型が使用済燃料を限定された区域に閉じ込める機能を保持できることを説明するものである。

2. MSF-52B 型の閉じ込め設計

MSF-52B 型は、胴及び蓋部により使用済燃料を内封する空間を金属キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間（60 年）を通じて負圧に維持する。MSF-52B 型は、蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋の間の空間部（以下「蓋間空間」という。）をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質をキャスク本体内部に閉じ込める。また、使用済燃料を内封する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。蓋及び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、蓋間空間に充填されているヘリウムガスが蓋間空間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料を内封する空間側に漏えいし、かつ、燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、使用済燃料を内封する空間を負圧に維持できるよう設定し、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、蓋間空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。蓋間空間の圧力に異常が生じた場合でも、あらかじめキャスク本体内部を負圧に維持するとともに、蓋間空間の圧力を正圧としているので、キャスク本体内部の気体が外部に流出することはない。

MSF-52B 型の閉じ込め境界は、第 2-1 図に示すように胴、一次蓋、カバープレート及び金属ガスケット（一次蓋及びカバープレートに取り付けられた金属ガスケット）とする。また、第 2-2 図に示すように蓋間空間を閉じ込め監視圧力境界とする。

なお、金属ガスケットは、アルミニウム合金製の外被及びニッケル基合金製の内被とした二重の被覆材並びにニッケル基合金製のコイルスプリングから構成される。

2.1 設計基準

MSF-52B 型は、使用済燃料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内封する空間を負圧に維持できる設計であること。

2.2 評価方法

MSF-52B 型の基準漏えい率及びリークテスト判定基準の計算フローを第 2-3 図に示す。閉じ込め評価では、設計貯蔵期間中にキャスク本体内部圧力が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、キャスク本体内部圧力の変化は、蓋間空間圧力と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キャスク本体内部へ流入する気体の漏えい率を積分することによって得られる。

MSF-52B 型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵期間中にわたってキャスク本体内部圧力が負圧を維持できる漏えい率として定義されるが、上述の漏えい計算を行

うことにより、設計貯蔵期間経過後にキャスク本体内部圧力が大気圧となるシール部の基準漏えい率を求め、使用する金属ガスケットの漏えい率（リークテスト判定基準）がそれを満足していることを確認する。

(1) 漏えい率計算手順

第 2-3 図に示される MSF-52B 型の漏えい率計算を行う。

(a) 初期漏えい率 Q_0 の設定

- ① MSF-52B 型の閉じ込め境界の初期漏えい率 Q_0 を設定する。この漏えい率は、使用済燃料の貯蔵開始時の温度及び圧力条件での MSF-52B 型の閉じ込め境界（一次蓋）全箇所からの漏えい率の合計値として設定する。
- ② キャスク本体内部圧力の変化は、ボイル・シャルルの法則に基づき、以下のように求められる。

$$\frac{d P_d}{d t} = \frac{Q}{V_d} \cdot \frac{T_d}{T}$$

ここで、

- $d P_d$: キャスク本体内部圧力の変化 (Pa)
- T_d : キャスク本体内部温度 (K)
- Q : キャスク本体内部圧力 P_d のときのシール部の漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
- T : 漏えい気体の温度 (K)
- V_d : キャスク本体内部の空間容積 (m^3)
- t : 時間 (s)

また、ここで漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式⁽¹⁾で求められる。

$$Q = L \cdot P_a$$

$$L = (F_e + F_m) \cdot (P_u - P_d)$$

$$F_e = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$$

$$F_m = \frac{\sqrt{2 \pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a}$$

ここで、

- Q : 漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
- L : 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（蓋間空間）の圧力 (Pa)
 P_d : 下流側（キャスク本体内部）の圧力 (Pa)
 D_0 : 相当漏えい孔径 (m)（クヌッセンの式で、キャスク本体内部の初期圧力 P_{d0} 、初期漏えい率 Q_0 として求める。）
 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 : 漏えい気体の粘性係数 (Pa·s)
 T : 漏えい気体の温度 (K)
 M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)
 R_0 : ガス定数 (J/(mol·K))

このクヌッセンの式は、次のようにして用いる。

MSF-52B 型のキャスク本体内部の初期圧力が P_{d0} 、蓋間空間圧力が P_{u0} 、漏えい気体の温度が T_0 のときの初期漏えい率が Q_0 であったとすると、クヌッセンの式にこれらの値を代入して相当漏えい孔径 D_0 を求める。同じシールにおいてキャスク本体内部圧力が P_{d1} 、蓋間空間圧力が P_{u1} 、漏えい気体の温度が T_1 に変化したときの漏えい率 Q_1 は、相当漏えい孔径 D_0 が変化しないものとして、クヌッセンの式にこれら圧力、温度を代入して求めることができる。

- ③ 蓋間空間圧力を一定、キャスク本体内部の初期圧力を P_{d0} として、②の式を時間 t で積分することにより、設計貯蔵期間経過後のキャスク本体内部圧力 P_d を求める。
- ④ ③により求めた P_d が正圧の場合はより小さな初期漏えい率 Q_0 を、負圧の場合はより大きい初期漏えい率 Q_0 を設定して、①～③を繰り返し、 P_d が大気圧となる初期漏えい率 Q_0 を求める。なお、キャスク本体内部圧力の算定に当たっては、使用済燃料の破損（破損率 0.1%）によるガス放出を想定した圧力上昇を考慮する。

- (b) 初期漏えい率 Q_0 から標準状態における漏えい率 Q_s への換算

初期漏えい率 Q_0 から標準状態における基準漏えい率 Q_s を換算によって求める。

- (c) リークテスト判定基準 Q_t の設定

標準状態における漏えい率 Q_s から保守的に設計貯蔵期間経過後にさらに蓋間空間ガスの流入を仮定してもキャスク本体内部の圧力を負圧に維持できるように設定したリークテスト判定基準 Q_t を定める。

2.3 評価条件

MSF-52B 型の閉じ込め評価条件を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 評価条件

項目	評価条件		備考
圧力	キャスク本体内部 蓋間空間 大気圧	: 8.0×10^4 Pa [abs] (初期) : 4.1×10^5 Pa [abs] : 9.7×10^4 Pa [abs]	蓋間空間圧力は、設計貯蔵期間中一定として評価
空間容積	キャスク本体内部	<input type="text"/>	
温度	キャスク本体内部* ¹ 漏えい気体* ²	270 °C -22.4 °C	キャスク本体内部の温度は、除熱評価結果から保守的に設定
漏えい気体	ヘリウム		
設計貯蔵期間	60 年		

注記* 1 : キャスク本体内部の最高温度

* 2 : 貯蔵区域におけるキャスク周囲の最低温度

2.4 評価結果

MSF-52B 型の閉じ込め評価結果を第 2-2 表に示す。

設計貯蔵期間中にキャスク本体内部を負圧に維持できる漏えい率以下にリークテスト判定基準を設定し、これを満足することにより閉じ込め機能が維持される設計となっている。

第 2-2 表 評価結果

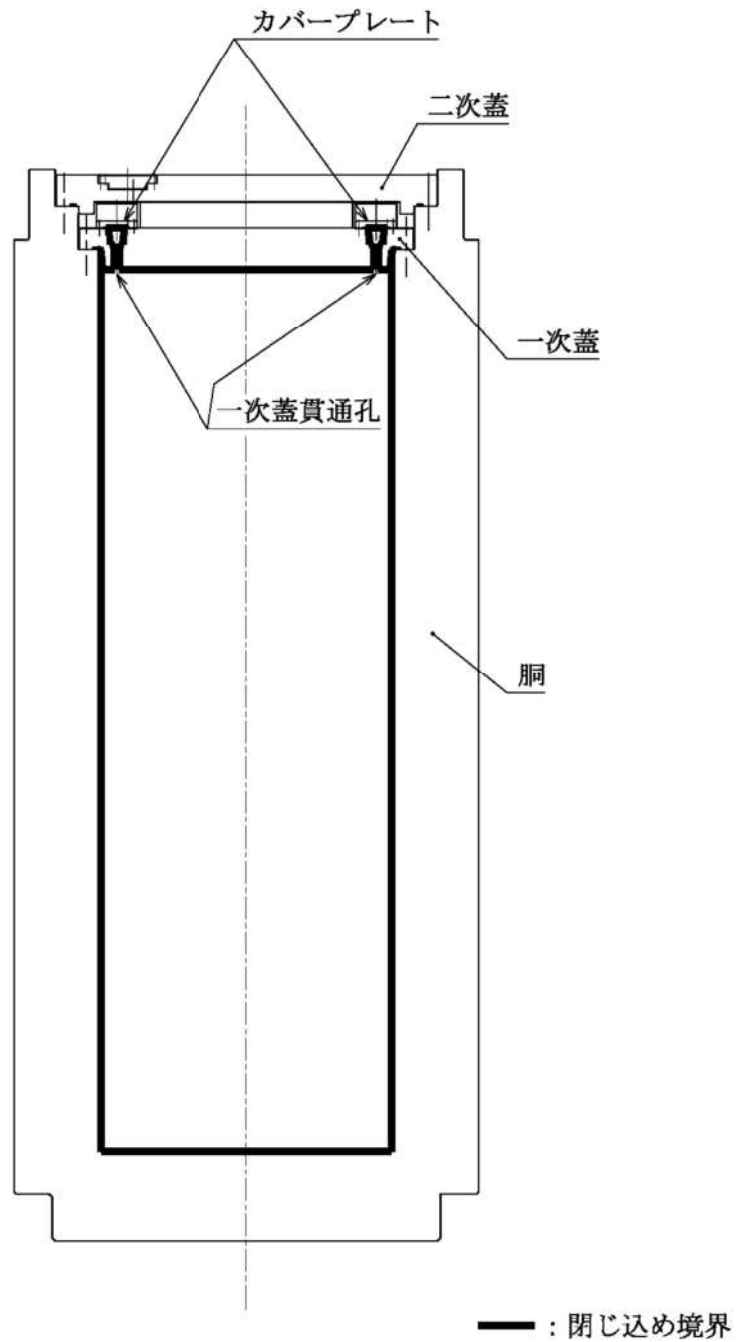
項目	基準漏えい率 (Q_s) * ¹ (Pa · m ³ /s)	リークテスト判定基準 (Q_r) * ¹ (Pa · m ³ /s)
金属ガスケットの漏えい率	1.7×10^{-6}	8.9×10^{-7}

注記* 1 : 標準状態 (上流側ヘリウム圧力 1.01×10^5 Pa [abs]、下流側圧力 0 Pa [abs]、温度 298.15 K (25°C)) とした場合の値

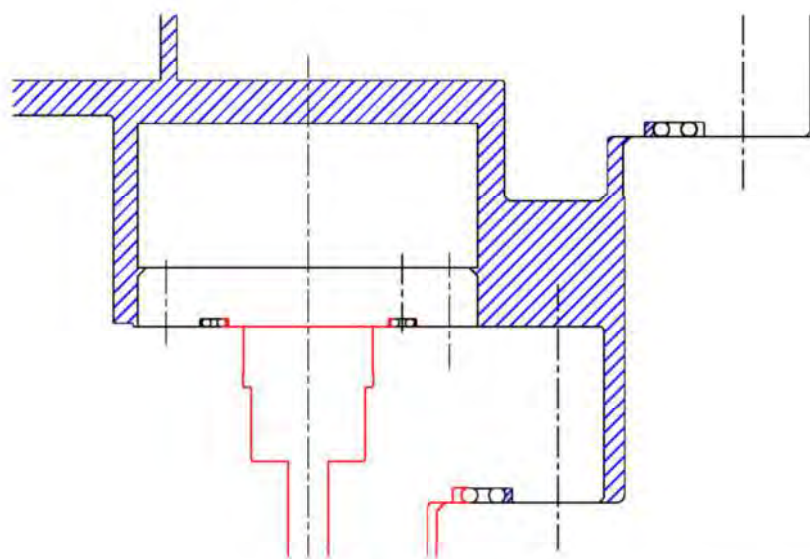
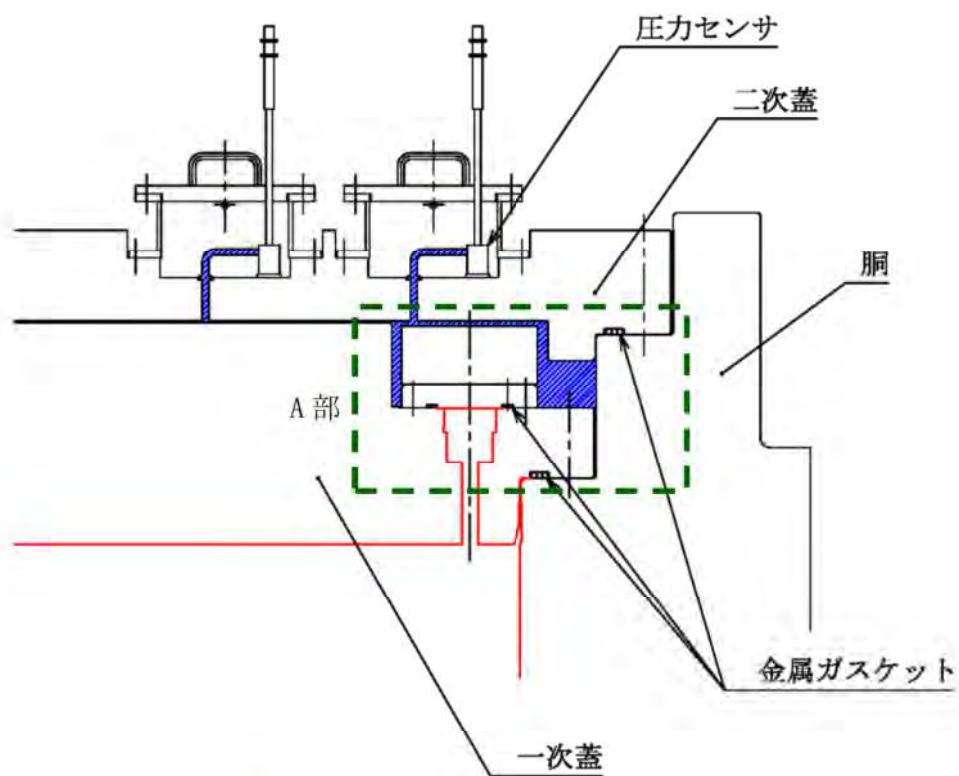
なお、リークテストでは金属ガスケットに対する上流側、下流側の設定 (リークの方法) が燃料貯蔵中と異なるが、漏えい率の評価はリークの方法によらないため、上流側、下流側は任意に設定できる。

3. 引用文献

- (1) “Safe transport of radioactive materials - Leakage testing on packages” ,
ISO 12807 (1996)



第 2-1 図 閉じ込め構造

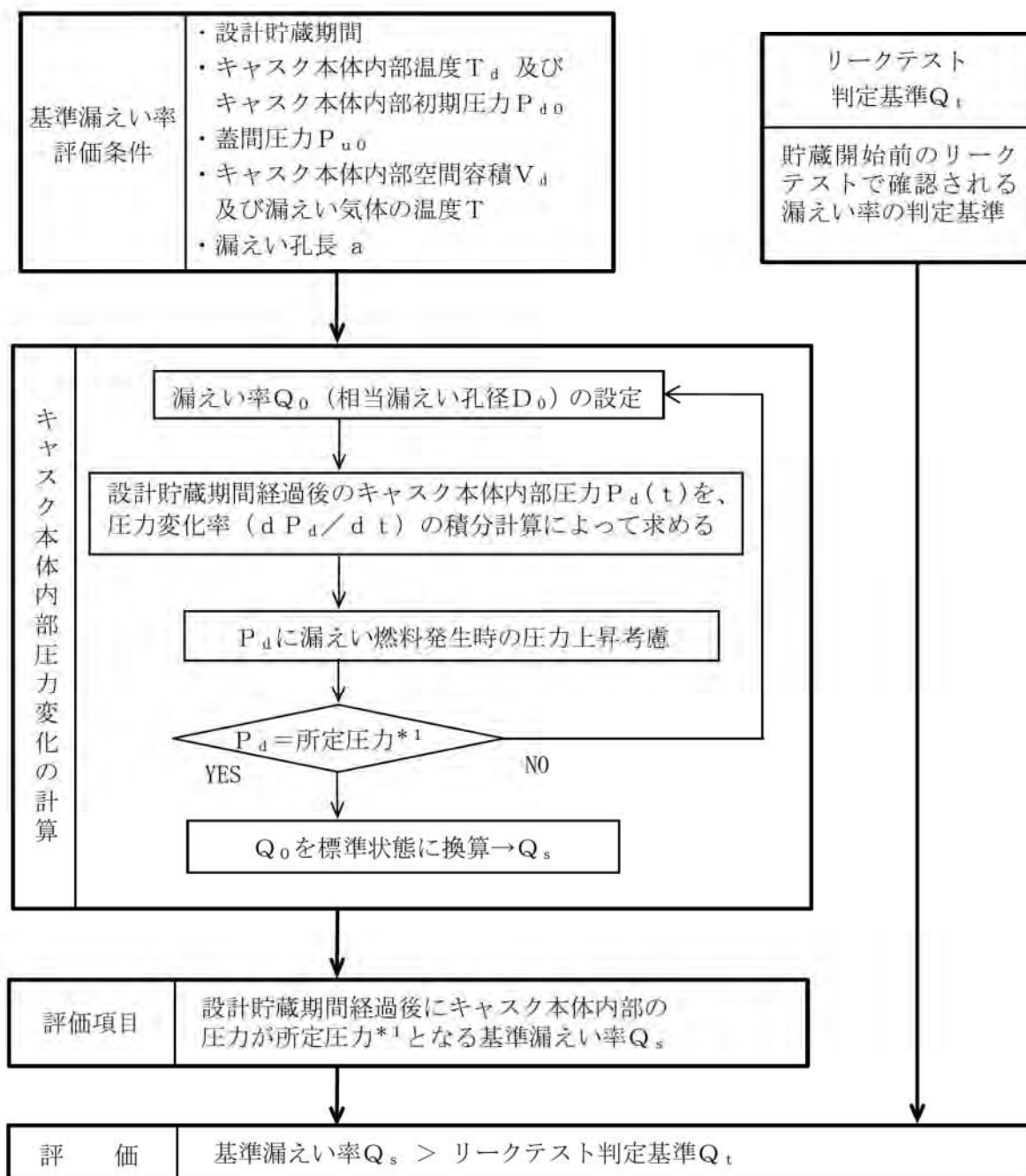


A部詳細

— : 閉じ込め境界 (負圧)

/// : 閉じ込め監視圧力空間 (正圧)

第2-2図 閉じ込め監視構造



注記*1：所定圧力は、大気圧の変動を考慮する。

第 2-3 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

添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. MSF-52B 型の除熱設計	2
2.1 設計基準	2
2.2 評価方法	3
2.3 評価対象燃料	3
2.4 評価条件	3
2.5 評価結果	8
3. 引用文献	20

図表目次

第 2-1 表	設計基準	2
第 2-2 表	MSF-52B 型 1 基当たりの崩壊熱量	4
第 2-3 表	評価条件	4
第 2-4 表	材料の物性値	5
第 2-5 表	MSF-52B 型外表面の熱伝達率	6
第 2-6 表	材料のふく射率	7
第 2-7 表	評価結果	9
第 2-1 図	MSF-52B 型の除熱解析モデル (全体モデル)	10
第 2-2 図	MSF-52B 型の除熱解析モデル (輪切りモデル)	11
第 2-3 図	MSF-52B 型の除熱解析モデル (燃料集合体モデル)	12
第 2-4 図	全体モデル要素分割図	13
第 2-5 図	輪切りモデル要素分割図	14
第 2-6 図	燃料集合体モデル要素分割図	15
第 2-7 図	除熱解析結果 (全体モデル) (高燃焼度 8 × 8 燃料の場合)	16
第 2-8 図	除熱解析結果 (輪切りモデル) (高燃焼度 8 × 8 燃料の場合)	17
第 2-9 図	除熱解析結果 (燃料集合体モデル) (高燃焼度 8 × 8 燃料の場合)	18
第 2-10 図	除熱解析結果 (燃料集合体モデル) (新型 8 × 8 燃料の場合)	19

1. 概要

本書は、MSF-52B 型が使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できることを説明するものである。

2. MSF-52B 型の除熱設計

MSF-52B 型は、使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できるように、使用済燃料から発生する崩壊熱を伝導、対流、ふく射により金属キャスクの外表面に伝え、周囲の空気等に伝達し除去する。MSF-52B 型内部のバスケットは、炭素鋼製のバスケットプレート、ほう素添加アルミニウム合金製の中性子吸収材及びアルミニウム合金製の伝熱サポートにより構成され、必要な伝熱性能を確保する。側部中性子遮蔽材部には除熱を促進するための銅製の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。除熱評価によって、使用済燃料被覆管と構成部材の温度が設計基準値以下となり、使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できることを確認する。

2.1 設計基準

設計基準を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 設計基準

対象となる部位		設計基準値 (°C)	設計基準の考え方
燃 料 被 覆 管	新型 8 × 8 ジルコニウム ライナ燃料	300 ⁽¹⁾	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。
	高燃焼度 8 × 8 燃料		
	新型 8 × 8 燃料	200 ⁽¹⁾	
金 属 キャスク	胴、外筒及び蓋部	350 ⁽²⁾	基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な構成部材は、健全性が維持できる温度以下とする。
	中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	149 ⁽³⁾⁽⁴⁾	
	金属ガスケット	130 ⁽⁵⁾	
	バスケット格子*1	350 ⁽²⁾	
	トラニオン	350 ⁽²⁾	

注記*1：バスケット格子とは、バスケットプレートの組立体をいう。

2.2 評価方法

MSF-52B 型の除熱解析は、MSF-52B 型の軸方向断面モデル（以下「全体モデル」という。） 、 径方向断面モデル（以下「輪切りモデル」という。） 及び燃料集合体モデルを用いて行う。輪切りモデル及び燃料集合体モデルは、燃料被覆管の最高温度が発生する軸方向中央部についてモデル化する。全体モデルを第 2-1 図に、輪切りモデルを第 2-2 図に、燃料集合体モデルを第 2-3 図に示す。

除熱解析には ABAQUS コード⁽⁶⁾を用いる。全体モデル要素分割図を第 2-4 図に、輪切りモデル要素分割図を第 2-5 図に、燃料集合体モデル要素分割図を第 2-6 図に示す。

2.3 評価対象燃料

MSF-52B 型に収納する使用済燃料集合体のうち、最も崩壊熱量が大きい高燃焼度 8 × 8 燃料（仕様 A）を对象として除熱解析を実施する。なお、燃料被覆管の評価においては、設計基準値が異なる新型 8 × 8 燃料（仕様 B）も対象とする。

2.4 評価条件

除熱解析の条件は以下のとおりである。使用済燃料の崩壊熱量は ORIGEN2 コード⁽⁷⁾により求める。崩壊熱量の計算には、使用済燃料集合体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。MSF-52B 型 1 基当たりの崩壊熱量を第 2-2 表に示す。

- (1) 全体モデルでは、バスケットと使用済燃料は均質体としてモデル化し、ピーキングファクターを考慮した発熱分布を与える。また、中性子遮蔽材と伝熱フィンも均質体としてモデル化する。
- (2) 輪切りモデルでは、使用済燃料は集合体ごとに均質化してモデル化し、この領域の崩壊熱量を発熱密度として与える。この熱は、ヘリウムガスの熱伝導とふく射により使用済燃料からバスケット、バスケットから胴に伝わる。
- (3) 輪切りモデル及び燃料集合体モデルでは、燃料集合体の温度が最も高くなる金属キャスク軸方向中央部の径方向断面についてモデル化する。
- (4) 燃料集合体モデルでは、燃料棒を一本ずつの独立した均質体としてモデル化する。
- (5) 崩壊熱は、胴から各部材の熱伝導と側部中性子遮蔽材部の伝熱フィンにより外筒に伝わり、外筒外表面から自然対流及びふく射により周囲に放熱される。

MSF-52B 型の貯蔵姿勢及び周囲温度を第 2-3 表に示す。また、解析に使用する物性値を第 2-4 表に、MSF-52B 型外表面の熱伝達率を第 2-5 表に、解析に使用するふく射率を第 2-6 表に示す。

第2-2表 MSF-52B型1基当たりの崩壊熱量

燃料集合体の種類	新型8×8燃料 (仕様B)	新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料 (仕様B)	高燃焼度 8×8燃料 (仕様A)
平均燃焼度 (MWd/t)	34,000	38,000	43,000
比出力 (MW/t)			
照射期間 (日)			
濃縮度 (wt%)			
冷却期間 (年)	22	12	12
ウラン質量 (kg)			
(上部)			
ピーキングファクター*1			
(下部)			
収納体数 (体)	52	52	52
設計崩壊熱量 (kW) *2	10.9	16.3	17.5

注記*1：ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

注記*2：除熱設計では燃料集合体のピーキングファクターを考慮した設計崩壊熱量を用いる。

第2-3表 評価条件

項目	評価条件
貯蔵姿勢	たて置き
周囲温度 (°C)	45
貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65

第2-4表 材料の物性値

構成部材	材料	温度 (°C)	熱伝導率*1 (W/(m・K))
胴 一次蓋 二次蓋	炭素鋼 (GLF1)	26.85	43.0
		226.85	38.6
		526.85	27.7
外筒	炭素鋼 (SGV480)	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	レジン	—	0.645
バスケットプレート	炭素鋼 (SGV480)	26.85	43.0
		226.85	38.6
		526.85	27.7
中性子吸収材	ほう素添加 アルミニウム合金	—	110 (長手方向) 70 (板厚方向)
伝熱サポート	アルミニウム合金 (A3004)	20	162.1
		125	170.1
		200	173.6
伝熱フィン	銅 (C1020)	26.85	398
		326.85	383
		526.85	371
内部気体	ヘリウム	26.85	0.1527
		126.85	0.1882
		226.85	0.2212
		326.85	0.2523
周囲気体	空気	26.85	0.02614
		126.85	0.03305
		226.85	0.03951

注記*1：引用文献(8)参照。ただし、レジンは引用文献(3)、ほう素添加アルミニウム合金は引用文献(9)、アルミニウム合金は引用文献(10)参照。

第2-5表 MSF-52B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	$1.55 \times \Delta T^{1/3}$
		373.15	100	$1.31 \times \Delta T^{1/3}$
		473.15	200	$1.11 \times \Delta T^{1/3}$
金属キャスク外表面 (上面)	上向き 水平平板	293.15	20	$1.57 \times \Delta T^{1/3}$
		373.15	100	$1.32 \times \Delta T^{1/3}$
		473.15	200	$1.12 \times \Delta T^{1/3}$
金属キャスク外表面 (下部端板)	下向き 水平平板	293.15	20	$0.898 \times \Delta T^{1/5}$
		373.15	100	$0.879 \times \Delta T^{1/5}$
		473.15	200	$0.860 \times \Delta T^{1/5}$

注記*1：熱伝達率は下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times P r \right)^{1/3} \quad (\text{垂直円筒}) \quad (11)$$

$$h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times P r \right)^{1/3} \quad (\text{上向き水平平板}) \quad (11)$$

$$h = 0.6 \frac{\lambda}{D} \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times D^3 \times P r \right)^{1/5} \quad (\text{下向き水平平板}) \quad (11)$$

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 : 周囲気体 (空気) と外表面の温度差 (K)

D : 代表長さ (m)

Pr : プラントル数 (-)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

第2-6表 材料のふく射率

構成部材	材料	ふく射率
胴（内面）	アルミニウム（酸化面）	0.33 ⁽¹²⁾
一次蓋 二次蓋 バスケットプレート	ニッケル（めっき面）	0.11 ⁽¹²⁾
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	0.2 ⁽⁹⁾⁽¹²⁾
伝熱サポート	アルミニウム合金	0.055 ⁽¹³⁾
外筒（外表面） 胴（外表面） 貯蔵建屋壁面*1	塗装	0.8 ⁽⁸⁾

注記*1：金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数として0.238を考慮する。

2.5 評価結果

評価結果を第 2-7 表 に示す。

本表に示すとおり、使用済燃料被覆管の温度は設計基準値を下回っており、使用済燃料の崩壊熱を安全に除去できる。また、各部材の熱的健全性は維持される。これらの評価結果から各部材の最高使用温度を設定する。

また、中性子遮蔽材の熱膨張及び化学変化については、以下のように、基本的安全機能及び構造強度設計に関する設計の入力条件として考慮する。

(1) 熱膨張

中性子遮蔽材を充填する空間には、貯蔵時の温度上昇による中性子遮蔽材の膨脹代を考慮して、ボイド層を設けている。貯蔵時においては、中性子遮蔽材が膨張してボイド層のガス容積を減少させるため、胴部、蓋部及び底部中性子遮蔽材充填部圧力が上昇する。このため、構造強度設計においては、胴部、蓋部及び底部中性子遮蔽材充填部に対して圧力上昇を考慮する。

(2) 化学変化

中性子遮蔽材の温度は、設計基準値を下回っており、MSF-52B 型の中性子遮蔽材は設計貯蔵期間中使用可能である。ただし、設計貯蔵期間中の経年変化により中性子遮蔽材の質量減損が発生するため、遮蔽評価上保守的に 2.9%の質量減損を考慮する。

第2-7表 評価結果

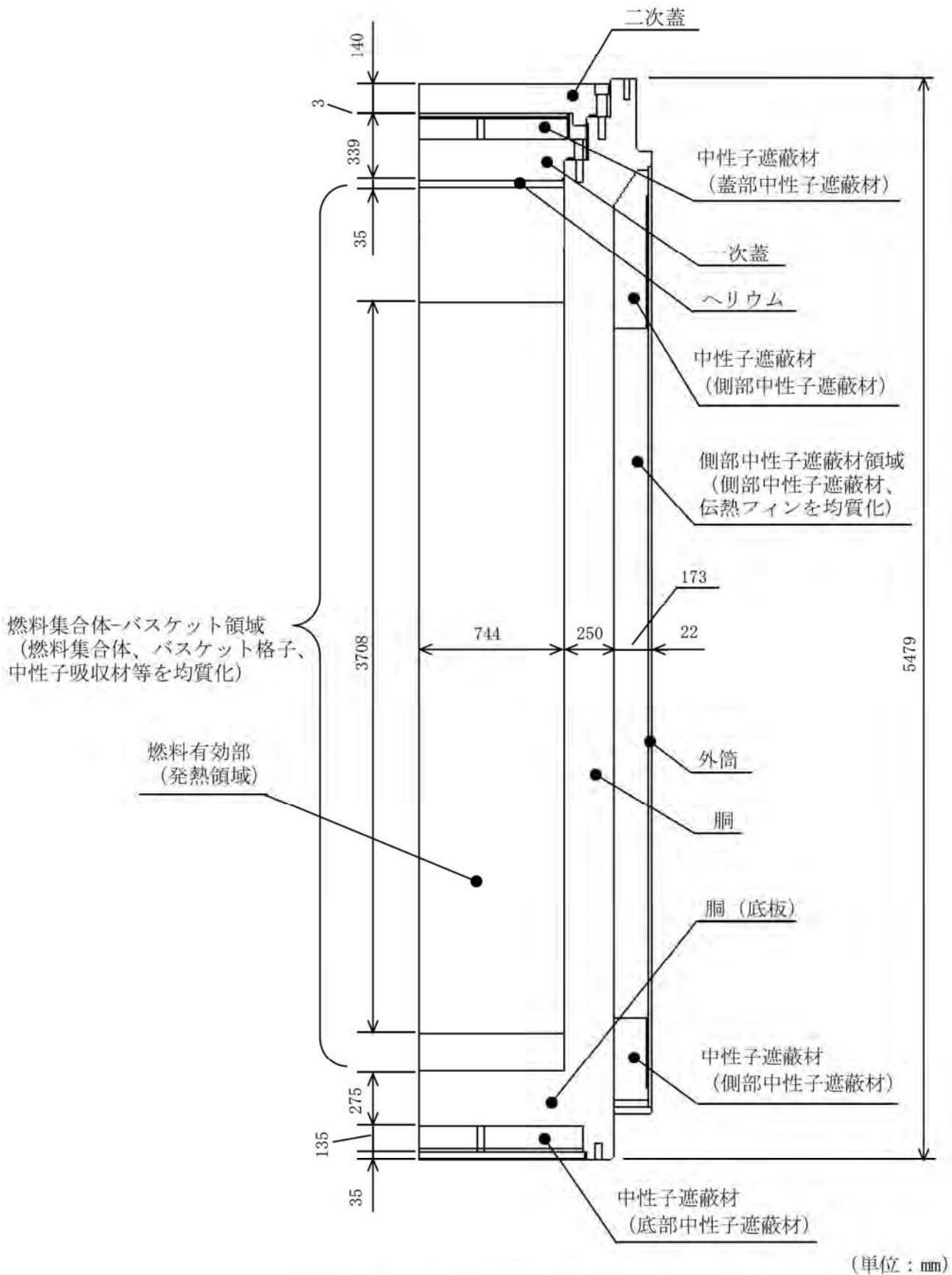
対象となる部位		評価結果 (°C)	設計基準値 (°C)
燃料被覆管	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度8×8燃料	263* ¹	300 ⁽¹⁾
	新型8×8燃料	188* ¹	200 ⁽¹⁾
金属キャスク	胴	137	350 ⁽²⁾
	胴(底板)	147	350 ⁽²⁾
	外筒	123	350 ⁽²⁾
	一次蓋	102	350 ⁽²⁾
	二次蓋	90	350 ⁽²⁾
	一次蓋ボルト	99	350 ⁽²⁾
	二次蓋ボルト	92	350 ⁽²⁾
	中性子遮蔽材(蓋部、底部、側部)	142* ²	149 ^{(3),(4)}
	金属ガスケット	102* ³	130 ⁽⁵⁾
	バスケット格子	257	350 ⁽²⁾
トラニオン	137* ⁴	350 ⁽²⁾	

注記*1：保守側に評価するため、燃料棒の最高温度とする。

*2：蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材のうち、最高となる温度。

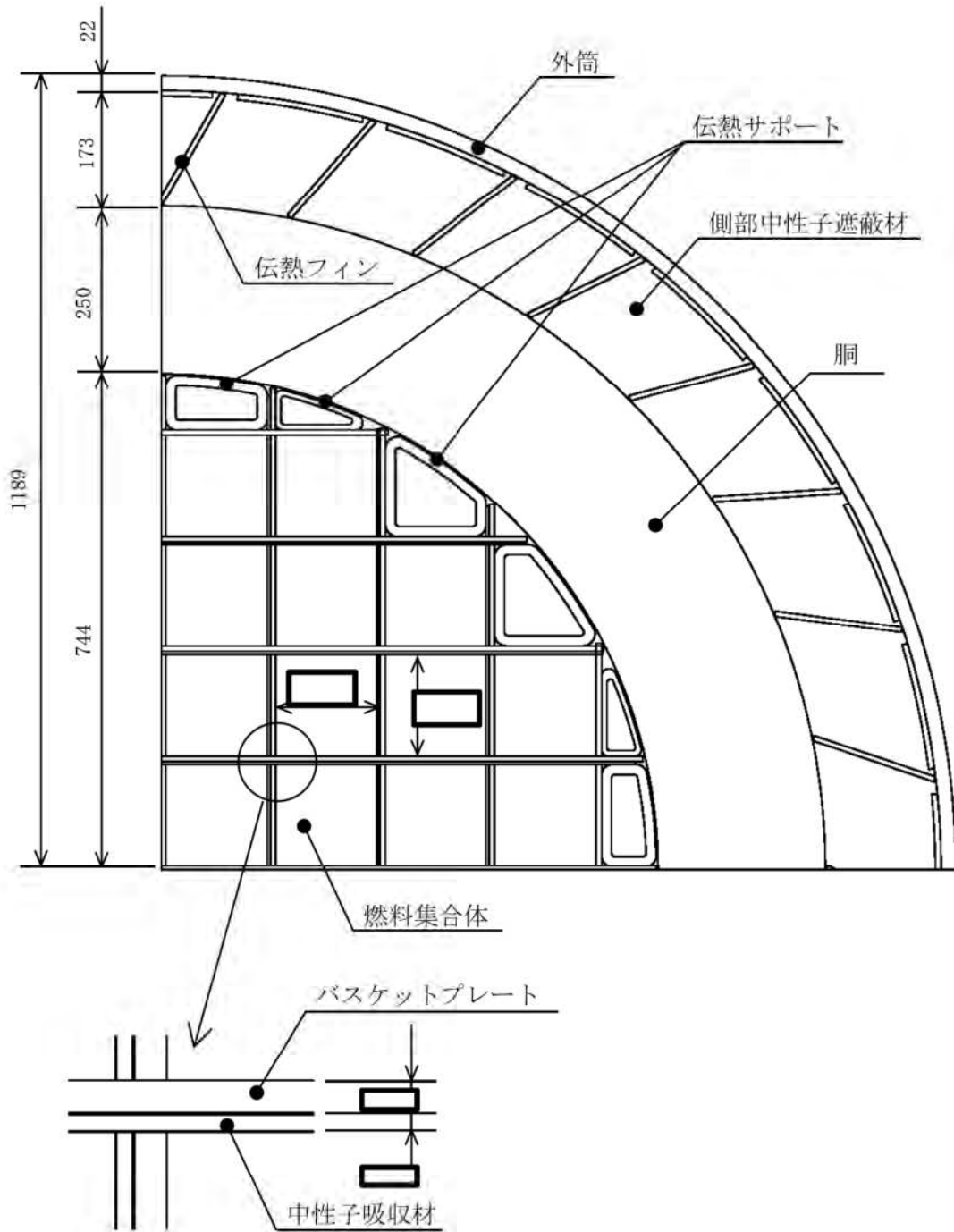
*3：保守側に評価するため、一次蓋の最高温度とする。

*4：保守側に評価するため、胴の最高温度とする。



(単位：mm)

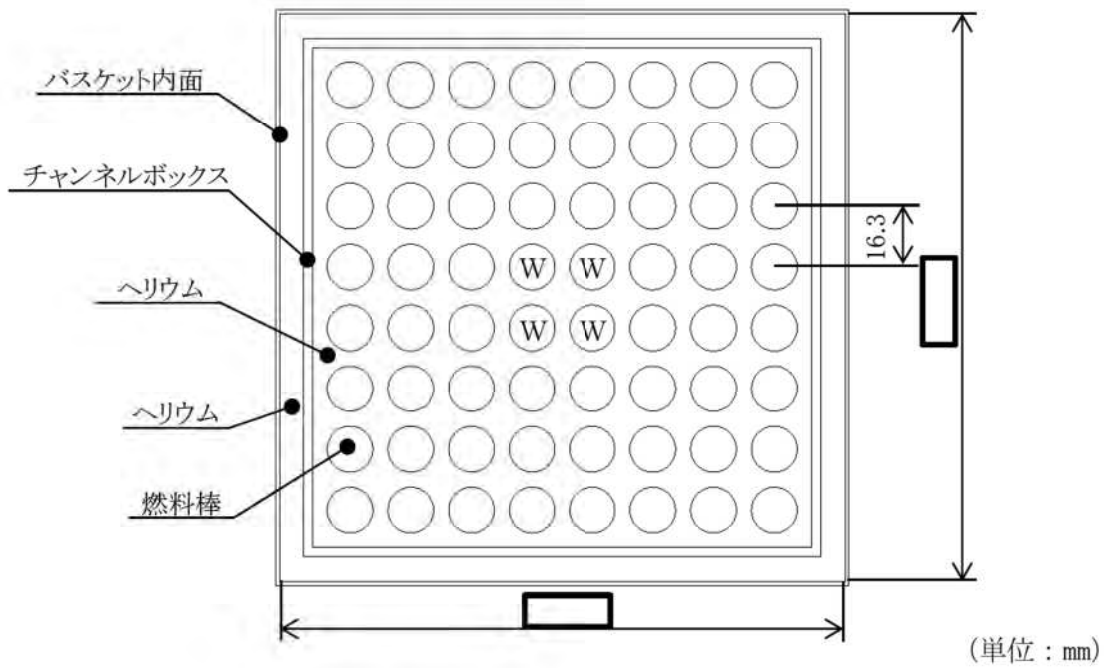
第 2-1 図 MSF-52B 型の除熱解析モデル (全体モデル)



(単位：mm)

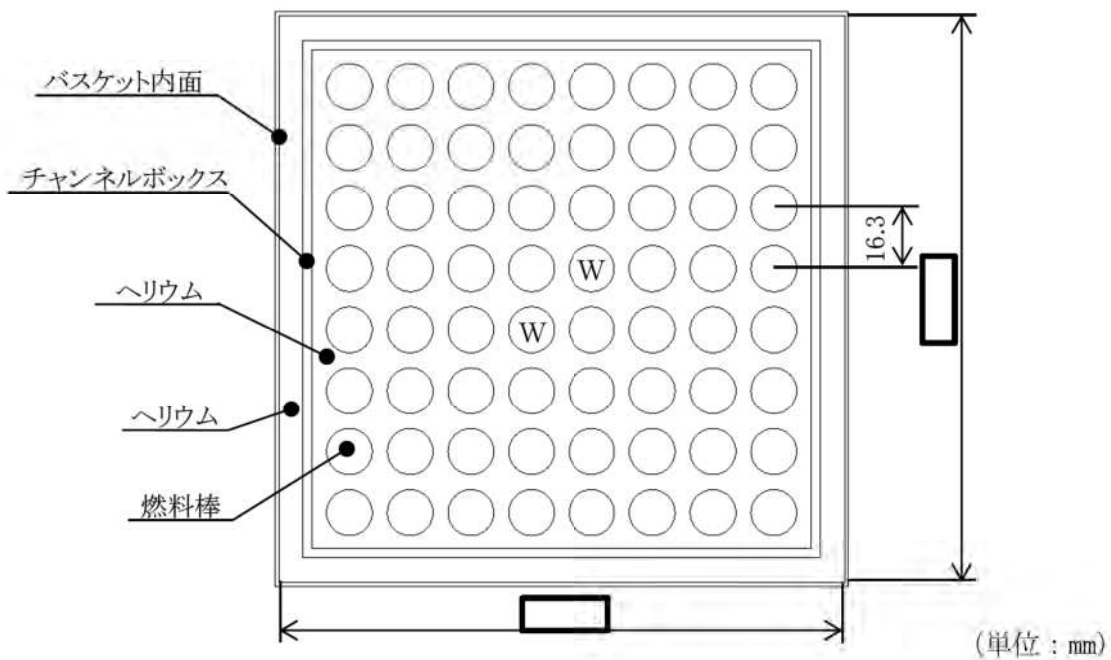
注記*1：解析モデルは360°モデルであるが、0°～90°の範囲を示す。

第2-2図 MSF-52B型の除熱解析モデル（輪切りモデル）



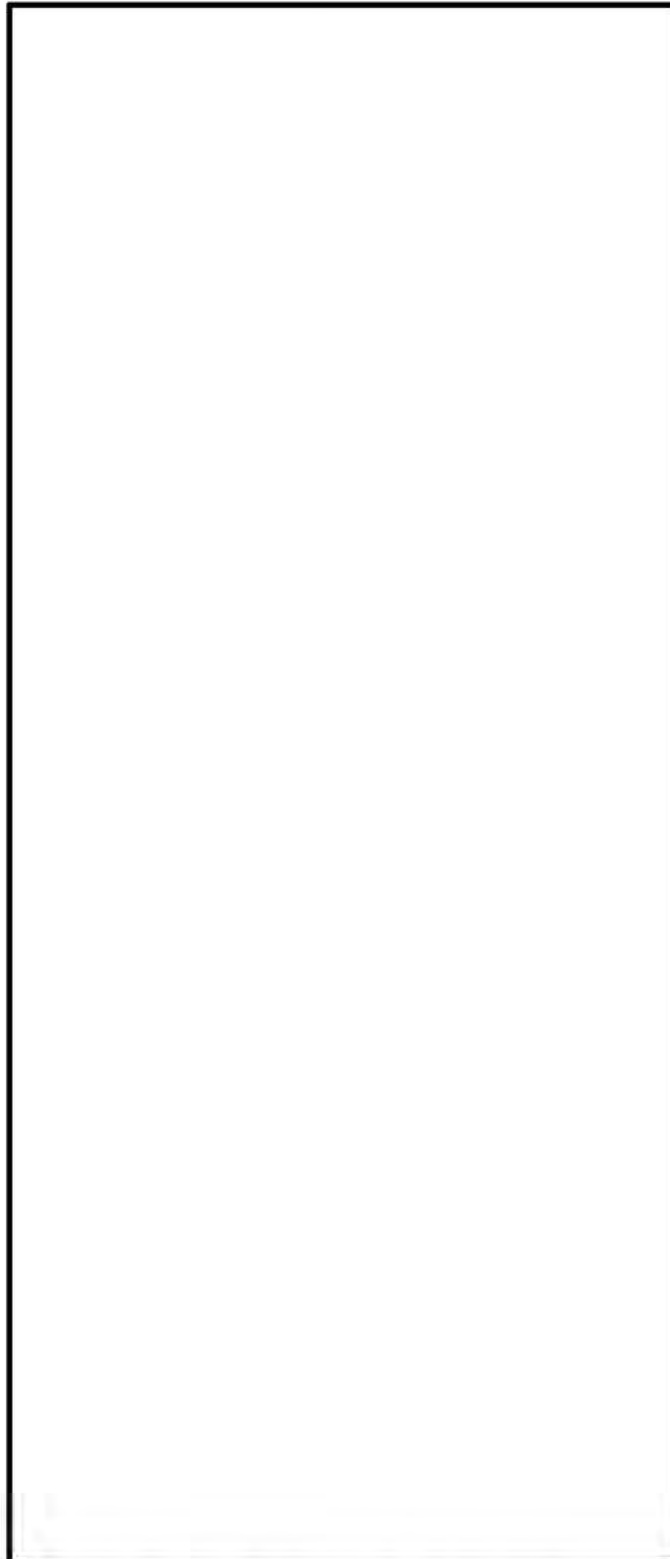
注記*1：Wはウォータロッドであり、発熱はない。

第 2-3 図 MSF-52B 型の除熱解析モデル（燃料集合体モデル）（1/2）
（高燃焼度 8 × 8 燃料の場合）

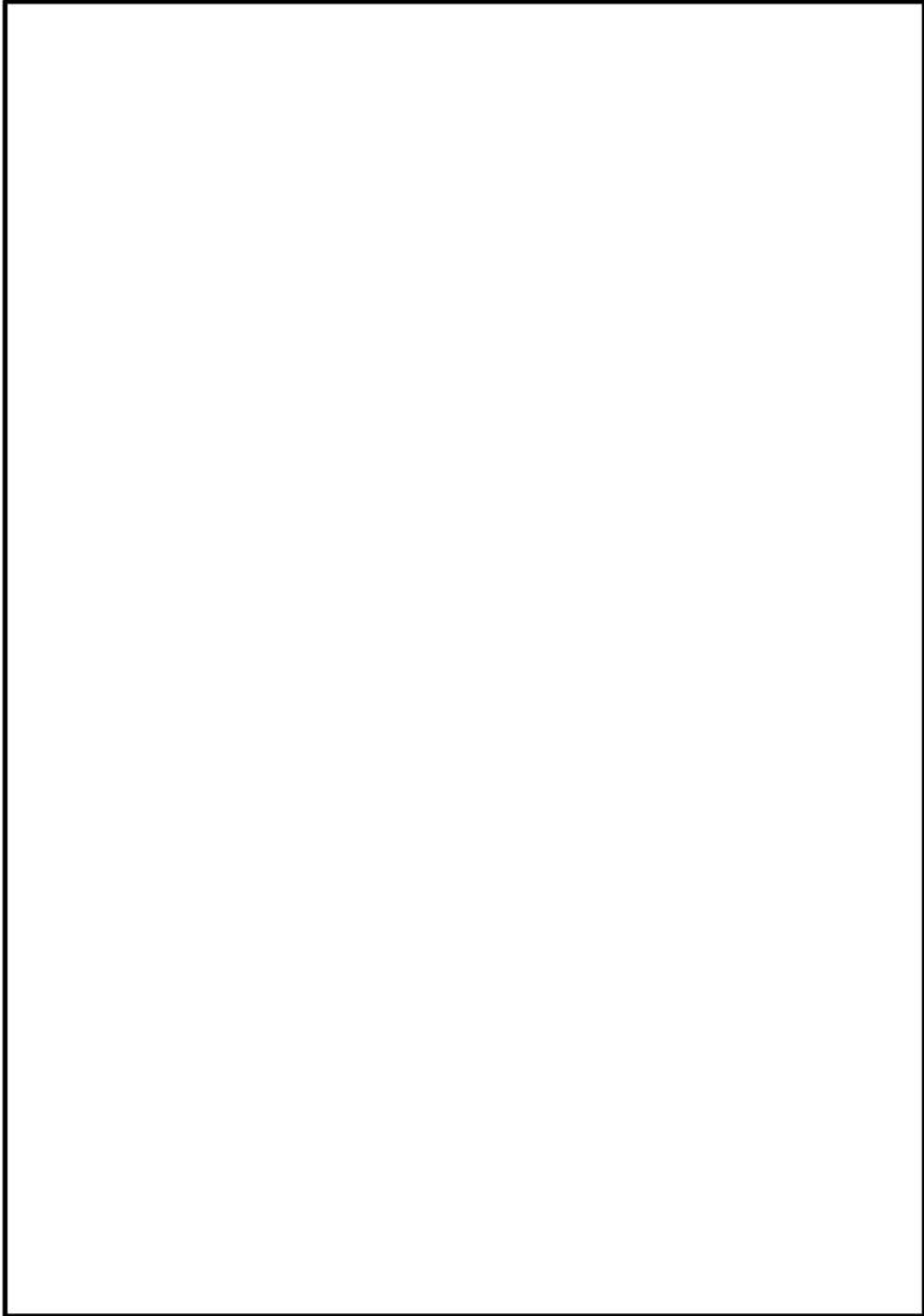


注記*1：Wはウォータロッドであり、発熱はない。

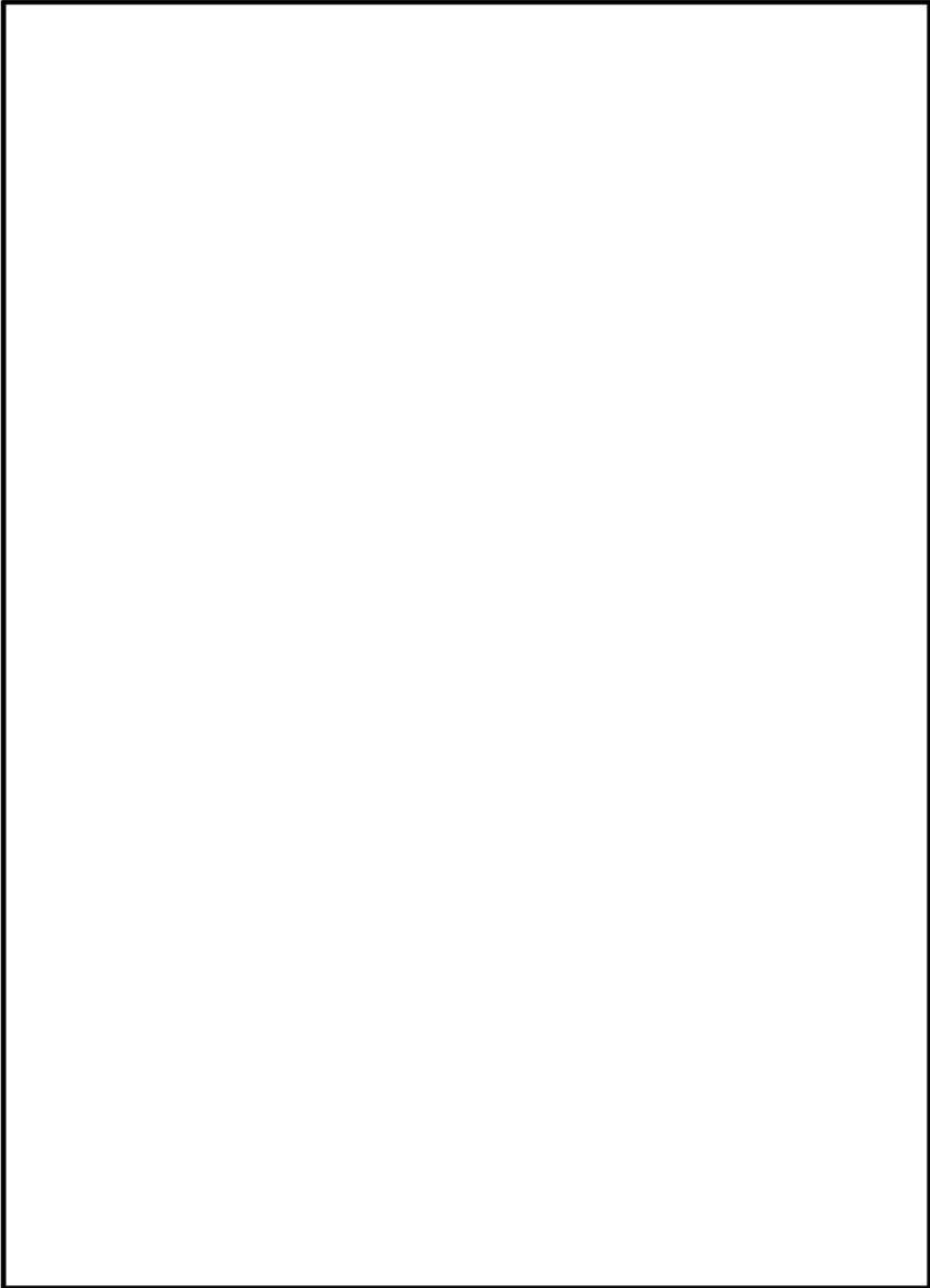
第 2-3 図 MSF-52B 型の除熱解析モデル（燃料集合体モデル）（2/2）
（新型 8 × 8 燃料の場合）



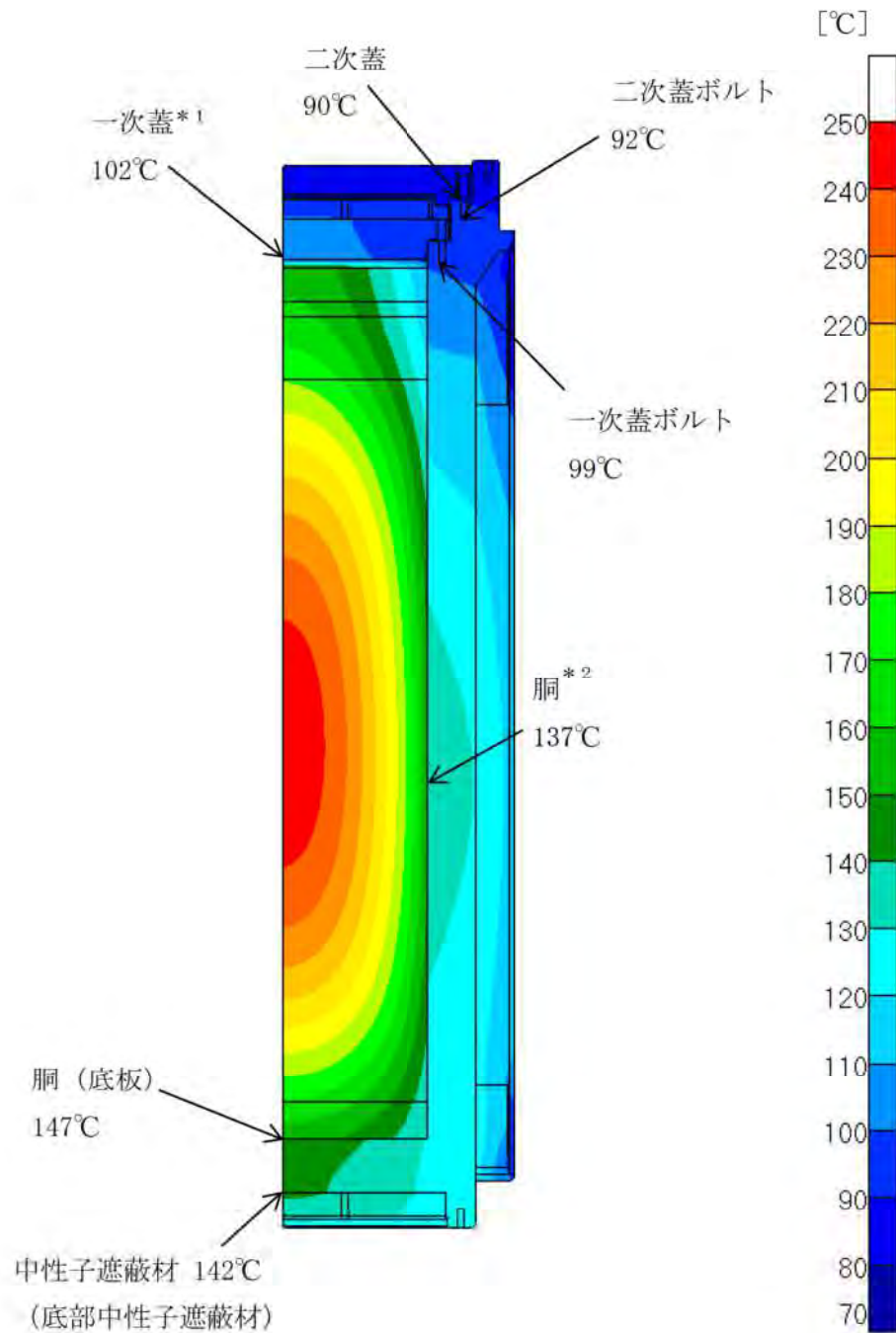
第 2-4 図 全体モデル要素分割図



第 2-5 図 輪切りモデル要素分割図



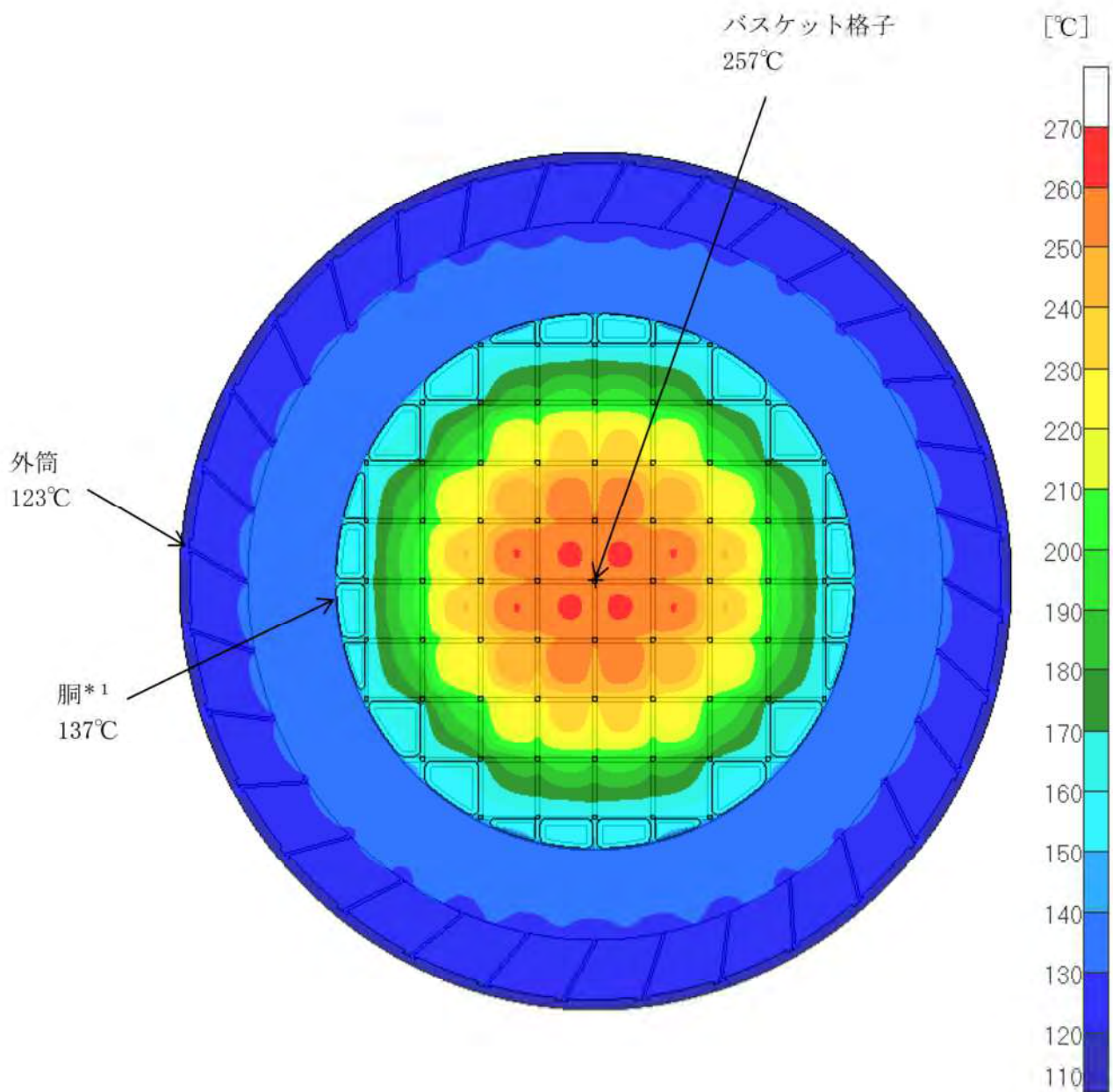
第 2-6 図 燃料集合体モデル要素分割図



注記*1：金属ガスケットの温度は、保守側に一次蓋の最高温度とする。

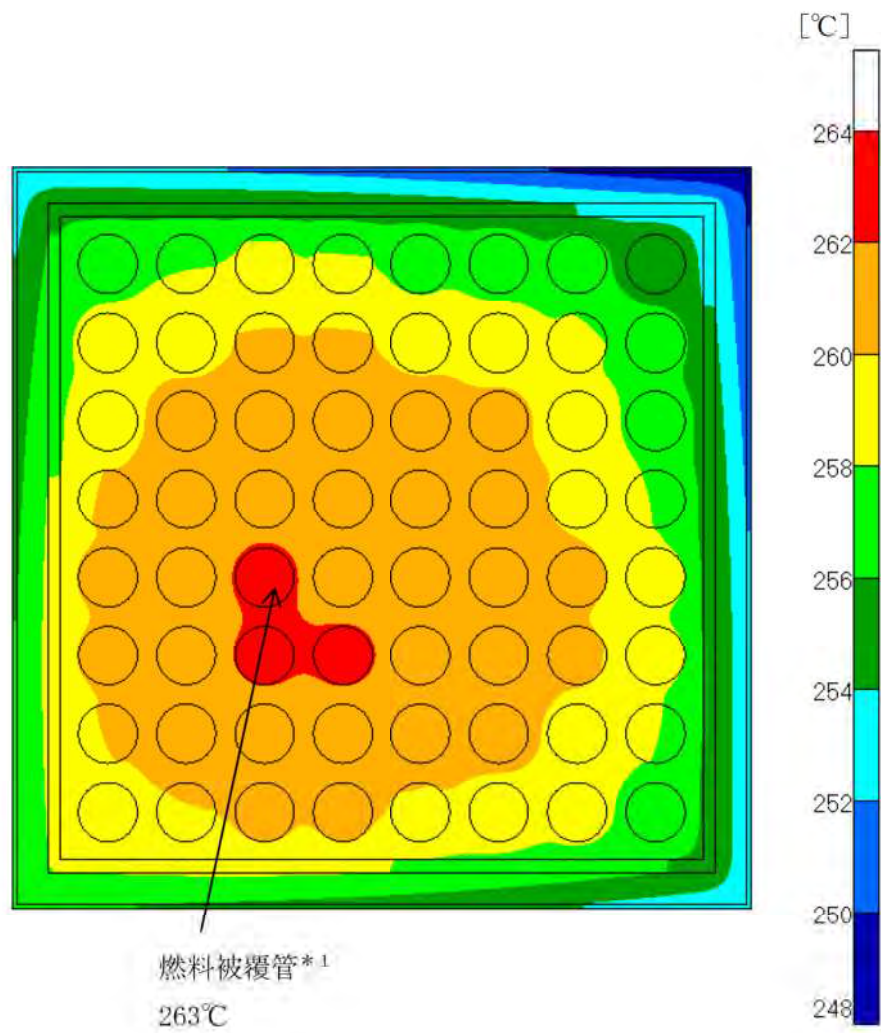
*2：トランニオンの温度は、保守側に胴の最高温度とする。なお、胴の最高温度 137°Cは輪切りモデルにより得られる値であるが、トランニオンとの位置関係を示すため、輪切りモデルの最高温度位置を全体モデルに置き換えて表示する。

第 2-7 図 除熱解析結果 (全体モデル)
(高燃焼度 8 × 8 燃料の場合)



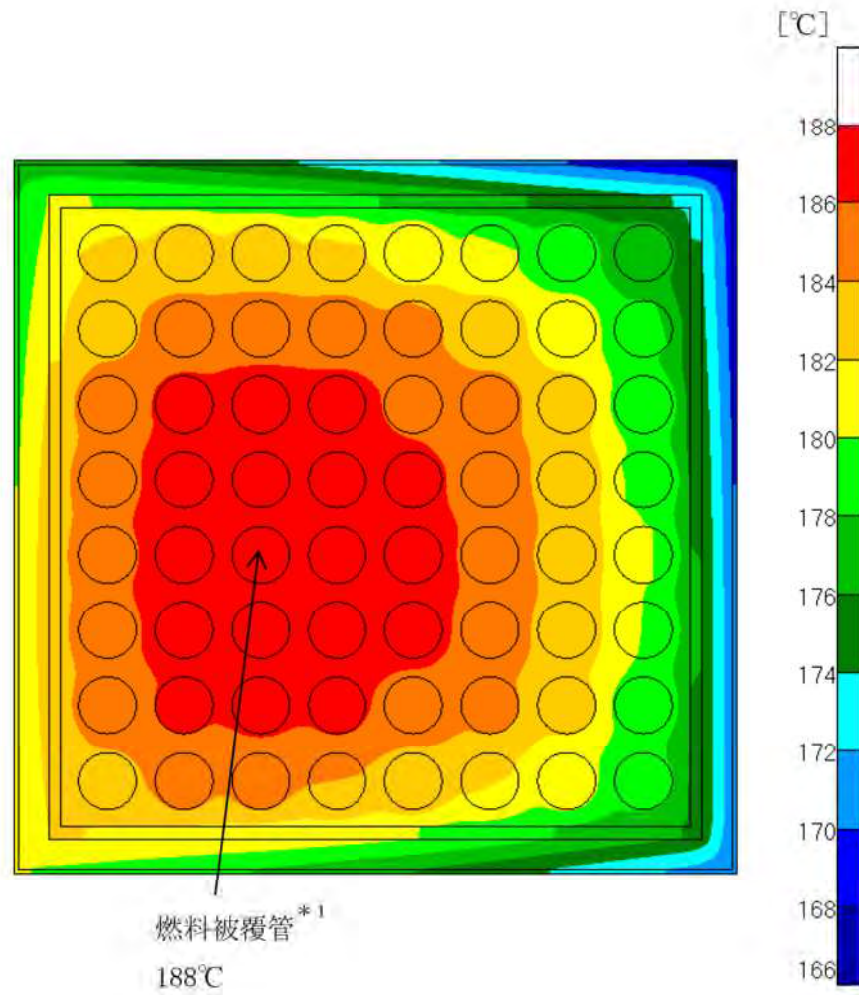
注記*1：トランニオンの温度は、保守側に胴の最高温度とする。

第2-8図 除熱解析結果（輪切りモデル）
（高燃焼度8×8燃料の場合）



注記*1：燃料被覆管の温度は、保守側に燃料棒の最高温度とする。

第2-9図 除熱解析結果（燃料集合体モデル）
（高燃焼度8×8燃料の場合）



注記*1：燃料被覆管の温度は、保守側に燃料棒の最高温度とする。

第 2-10 図 除熱解析結果（燃料集合体モデル）
（新型 8 × 8 燃料の場合）

3. 引用文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ、「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」、(平成21年6月)
- (2) (一社)日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2007年追補版) <第I編 軽水炉規格> (JSME S NC1-2007)」、(2007年9月)
- (3) “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, BISCO PRODUCTS, Inc, 6/23/86
- (4) T. Ichihashi, D. Ishiko, A. Ogawa and M. Morishima, “Verification Tests of Neutron Shielding Materials and shielding Assessment”, Proceedings of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, Oct.21-26, 2007
- (5) (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)
- (6) “ABAQUS 6.12 Analysis User’s Manual”, Dassault Systèmes, 2012
- (7) A. G. Croff, “ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code”, ORNL-5621, July, 1980
- (8) (一社)日本機械学会、「伝熱工学資料 改訂第4版」、(1986年)
- (9) 中性子吸収材メーカー資料
- (10) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part D, American Society of Mechanical Engineers, New York, 2010
- (11) (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)
- (12) J. R. Howell, and R. Siegel, “THERMAL RADIATION HEAT TRANSFER FIFTH EDITION”, Taylor & Francis Group, 2011
- (13) (一社)日本機械学会、「伝熱工学資料 改訂第3版」、(1975年)

添付書類6 火災及び爆発の防止に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. MSF-52B 型の火災及び爆発による影響	2

1. 概要

本書は、MSF-52B 型が万一の火災又は爆発の影響を受けた場合における使用済燃料貯蔵施設への影響を説明するものである。

2. MSF-52B 型の火災及び爆発による影響

MSF-52B 型は鋼材及び中性子遮蔽材等により構成されている。これらの材料は不燃性又は難燃性であることから、万一の火災又は爆発により MSF-52B 型が使用済燃料貯蔵施設を損傷させるおそれはない。

添付書類 7 耐震性に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. 耐震設計の基本方針	2
3. 耐震設計条件	3
3.1 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力	3
3.2 基準地震動による地震力	3
4. 耐震評価	4

図表目次

第 3-1 表 耐震設計条件	3
----------------------	---

1. 概要

本書は、MSF-52B 型の耐震評価における地震力の設定の考え方を示すと共に、MSF-52B 型がその地震力による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないこと、及び MSF-52B 型がその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ことを説明するものである。

2. 耐震設計の基本方針

MSF-52B 型は、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）（日本機械学会 2007 年 12 月）（以下「構造規格」という。）に基づき、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留まる範囲で耐え得る設計とする。また、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則の第 5 条の 2 の要求に基づき、以下のとおり設計する。

- (1) 通常貯蔵時に生じる荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、概ね弾性状態に留まる範囲で耐え得る設計とする。
- (2) 通常貯蔵時に生じる荷重と、基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、基本的安全機能が保持できる設計とする。

3. 耐震設計条件

MSF-52B 型の耐震設計に適用する弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力と基準地震動による地震力は、以下のとおり設定する。

3.1 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力

弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力には、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に規定される貯蔵区域における地震力を適用する。この地震力を弾性設計用地震動 S_d^* に相当する地震力（以下「 S_d^* 相当地震力」という。）とし、第 3-1 表に示す。

3.2 基準地震動による地震力

基準地震動による地震力には、型式証明申請書の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に規定される貯蔵区域における地震力を適用する。この地震力を基準地震動 S_s に相当する地震力（以下「 S_s 相当地震力」という。）とし、第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 耐震設計条件

区分	水平方向	鉛直方向
S_s 相当地震力	1.5 g	1.0 g
S_d^* 相当地震力	1.5 g	1.0 g

4. 耐震評価

S_d^* 相当地震力が作用する場合における応力評価の結果、MSF-52B 型の各部に発生する応力は構造規格に示す許容応力値を満足することから、MSF-52B 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留まる範囲で耐え得る。また、 S_s 相当地震力が作用する場合における応力評価の結果、MSF-52B 型の各部に発生する応力は構造規格に示す許容応力値を満足することから、MSF-52B 型は設計条件として設定する地震力に対して基本的安全機能が保持できる。

なお、MSF-52B 型の地震時における応力評価の詳細は、「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」に記載する。