

|                  |
|------------------|
| リサイクル燃料備蓄センター設工認 |
| 設 2-補-005 改 1    |
| 2022 年 1 月 21 日  |

リサイクル燃料備蓄センター  
設計及び工事の計画の変更認可申請書  
(補足説明資料)

金属キャスクへの使用済燃料の収納と  
搬出への備えについて

令和4年1月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

## 目次

|   |   |
|---|---|
| 1. 目的                                       | 1 |
| 2. 金属キャスクへの使用済燃料の収納に関する補足事項                 | 1 |
| 2.1 BWR用大型キャスク（タイプ2A）に収納できる<br>使用済燃料集合体について | 1 |
| 2.2 原子炉設置者による使用済燃料の収納時の措置について               | 4 |
| 3. BWR用大型キャスク（タイプ2A）の搬出への備え<br>に関する補足事項     | 8 |

## 1. 目的

本資料は、リサイクル燃料備蓄センター（以下「RFS」という。）に設置する金属キャスクについて、原子炉設置者が行う使用済燃料の収納時の措置と搬出時にRFSが行う措置について補足説明するものである。

## 2. 金属キャスクへの使用済燃料の収納に関する補足事項

### 2.1 BWR用大型キャスク（タイプ2A）に収納できる使用済燃料集合体について

#### (1) 概要

BWR用大型キャスク（タイプ2A）の構造については、BWR用大型キャスク（タイプ2）と同一である。

BWR用大型キャスク（タイプ2A）は、第2.1-1表に示す通り、BWR用大型キャスク（タイプ2）と比較して、多様な種類のBWR燃料集合体を収納できる設計である。

第2.1-1表 収納可能なBWR燃料集合体の種類

| 金属キャスクの種類        | タイプ2               | タイプ2A  |
|------------------|--------------------|--|
| 収納可能な使用済燃料集合体の種類 | ・ 新型8×8ジルコニウムライナ燃料 | ・ 新型8×8燃料<br>・ 新型8×8ジルコニウムライナ燃料<br>・ 高燃焼度8×8燃料 |

#### (2) 設計

事業許可申請書では、BWR用大型キャスク（タイプ2）及びBWR用大型キャスク（タイプ2A）を記載しており許可を取得している。

両タイプは、収納するBWR使用済燃料集合体の仕様が異なるものの、金属キャスクの仕様（構成部材、寸法）は同一である。

表2.1-2にBWR燃料集合体の主要仕様及び主な設計改良を示す。

また、表2.1-3に、BWR用大型キャスク（タイプ2A）に収納する使用済燃料の仕様を示す。

表2.1-3のとおり、BWR用大型キャスク（タイプ2A）の基本的安全機能（使用済燃料の臨界防止を除く。）に関する評価については、BWR用大型キャスク（タイプ2）を包含する条件であり、BWR用大型キャスク（タイプ2）の基本的安全機能に関する評価も満足する設計である。使用済燃料の臨界防止の機能については、評価条件上厳しい高燃焼度8×8燃料を収納する条件で基準を満足する設計である。

第 2.1-2 表 収納可能な BWR 燃料集合体の主要仕様

| 燃料集合体の種類          | 新型 8×8 燃料 (RJ 燃料)  | 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 (BJ 燃料)   | 高燃焼度 8×8 燃料 (STEP II 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<br>(ジルコニウムライナあり)   | ジルカロイ-2<br>(ジルコニウムライナあり)  |
| 燃料理論密度 (%)        | 約 95   | 約 95   | 約 97  |
| 被覆管肉厚 (mm)        | 約 0.86   | 約 0.86   | 約 0.86  |
| 燃料有効長 (m)         | 約 3.7  | 約 3.7  | 約 3.7   |
| 燃料棒配列             | 8×8  | 8×8  | 8×8   |
| 集合体当りの燃料棒数 (本)    | 62   | 62   | 60  |
| 平均濃縮度 (wt%)       | 約 3.0  | 約 3.0  | 約 3.4   |
| ウラン重量 (kg)        | 約 170  | 約 170  | 約 170   |
| 取替燃料集合体平均燃焼度      | 約 29,500   | 約 33,000   | 約 39,500  |
| 燃料集合体最高燃焼度        | 40,000   | 40,000   | 50,000  |
| 燃料集合体の構造図         | <p>燃料 (二酸化ウラン) 被覆管 (ジルカロイ-2)</p> <p>新型 8×8 燃料 (RJ 燃料) の断面イメージ</p> <p>被覆管 (ジルカロイ-2)</p> <p>燃料 (二酸化ウラン)</p> <p>ジルコニウムライナ</p> <p>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 (BJ 燃料) の断面イメージ</p> | <p>被覆管 (ジルカロイ-2)</p> <p>燃料 (二酸化ウラン)</p> <p>ジルコニウムライナ</p> <p>高燃焼度 8×8 燃料 (STEP II 燃料) の断面イメージ</p> |   |
| 燃料集合体の主な設計改良 (参考) | <p>1. ウォータロッドは従来の 1 本から 2 本に増加。</p>  | <p>1. 被覆管の内側に約 0.1 mm 厚さのジルコニウムをライナ (内張り)。</p>   | <p>1. 太径 1 本のウォータロッドを集合体中央に配し, その周りに燃料棒 60 本を 8×8 に配して構成</p> <p>2. 濃縮度を従来よりも高めた。</p> <p>3. 燃料棒の初期ヘリウム加圧量の増加, ペレット密度を増加させた。</p> <p>以上の設計改良により除熱性能を向上させ, 高燃焼度化を図った。</p> |

補足: 黄色マーカーの仕様は, 燃料集合体の主な設計改良 (参考) により変更となった仕様。

出典: 「軽水炉燃料のふるまい (改訂第 5 版)」: (財) 原子力安全研究協会, 2013. 3

第2.1-3表 収納可能なBWR燃料集合体仕様の違いによる基本的安全機能の設計における条件の比較\*1

| 項目     |                 | 主な評価条件  |                      |                      |                      | 考え方                                   |                     |
|--------|-----------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------|
|        |                 | BWR用大型キャスク (タイプ2A)                                  |                      |                      |                      |                                       |                     |
|        |                 | 新型8×8燃料   |                      | BWR用大型キャスク (タイプ2)    |                      |                                       |                     |
|        |                 | 新型8×8燃料のみ収納   | 新型8×8ジルコニウムライナ燃料と混載  | 新型8×8ジルコニウムライナ燃料     | 高燃焼度8×8燃料            |                                       |                     |
| 臨界防止機能 | モデルバンドル         | 燃料棒数 (本)  | 62                   |                      | 62                   | 60                                    | 実形状                 |
|        |                 | 濃縮度 (wt%)   | 約3.1                 |                      | 約3.1                 | 約3.7                                  | 最大値*2               |
|        |                 | 燃料理論密度 (%)  | 95                   |                      | 95                   | 97                                    | 実仕様                 |
| 遮へい機能  | 線源強度            | ウラン重量 (kg)  | 177                  |                      | 177                  | 174                                   | 最大値                 |
|        |                 | 濃縮度 (wt%)   | 約2.9                 |                      | 約2.9                 | 約3.4                                  | 最小値                 |
|        |                 | 最高燃焼度 (MWd/t)                                       | 28,500               | 34,000               | 40,000               | 40,000                                | 事業者側で選定             |
|        |                 | 平均燃焼度 (MWd/t)                                       | 26,000               | 34,000               | 34,000               | 34,000                                | 事業者側で選定             |
|        |                 | 軸方向燃焼度分布  | 考慮                   | 考慮                   | 考慮                   | 考慮                                    | 燃料調査より設定            |
|        |                 | 冷却期間 (年)  | 24                   |                      | 18                   | 18                                    | 事業者側で選定             |
|        |                 | 燃料有効部のガンマ線の線源強度 (photons/s) (キャスク1基当たり)             | $5.8 \times 10^{16}$ | $7.1 \times 10^{16}$ | $8.9 \times 10^{16}$ | $8.9 \times 10^{16}$                  | ORIGEN2コードによる燃焼計算結果 |
|        |                 | 構造材放射化ガンマ線の線源強度 ( $^{60}\text{Co}$ :Bq) (キャスク1基当たり) | $4.6 \times 10^{13}$ | $5.5 \times 10^{13}$ | $1.3 \times 10^{14}$ | $1.3 \times 10^{14}$                  | 放射化計算式による計算結果       |
|        |                 | 全中性子源強度 (n/s) (キャスク1基あたり)                           | $2.9 \times 10^9$    | $7.5 \times 10^9$    | $1.4 \times 10^{10}$ | $1.0 \times 10^{10}$                  | ORIGEN2コードによる燃焼計算結果 |
| 閉じ込め機能 | 燃料被覆管内の核分裂生成ガス量 | ウラン重量 (kg)  | 177                  |                      | 177                  | 174                                   | 最大値                 |
|        |                 | 濃縮度 (wt%)   | 約2.9                 |                      | 約2.9                 | 約3.4                                  | 最小値                 |
|        |                 | 平均燃焼度 (MWd/t)                                       | 26,000               | 34,000               | 34,000               | 34,000                                | 事業者側で選定             |
|        |                 | 冷却期間 (年)  | 24                   |                      | 18                   | 18                                    | 事業者側で選定             |
| 除熱機能   | 崩壊熱量            | ウラン重量 (kg)  | 177                  |                      | 177                  | 174                                   | 最大値                 |
|        |                 | 濃縮度 (wt%)   | 約2.9                 |                      | 約2.9                 | 約3.4                                  | 最小値                 |
|        |                 | 最高燃焼度 (MWd/t)                                       | 28,500               | 34,000               | 40,000               | 40,000                                | 事業者側で選定             |
|        |                 | 平均燃焼度 (MWd/t)                                       | 26,000               | 34,000               | 34,000               | 34,000                                | 事業者側で選定             |
|        |                 | 軸方向燃焼度分布  | 考慮                   | 考慮                   | 考慮                   | 考慮                                    | 燃料調査より設定            |
|        |                 | 冷却期間 (年)  | 24                   |                      | 18                   | 18                                    | 事業者側で選定             |
|        |                 | 設計崩壊熱量 (kW*3) (キャスク1基あたり)                           | 9.78                 | 13.6                 | 15.3                 | 14.6                                  | ORIGEN2コードによる燃焼計算結果 |
|        | 燃料被覆管制限温度 (°C)  | 200 (ライナなし)   |                      | 300 (ライナあり)          |                      | BWR燃料は、ジルコニウムライナの有無により、燃料被覆管温度制限が異なる。 |                     |

\*1: 各機能における評価条件を赤太枠で示す。

\*2: 新燃料仮定の条件。冠水時の評価では無限増倍率1.3のガドリニウムクレジットのモデルバンドルを使用。

\*3: BWR用大型キャスク (タイプ2A) では、新型8×8燃料を収納する場合に崩壊熱量を制限している。そのため、それぞれの評価条件で新型8×8燃料の燃料被覆管温度を評価している。

## 2.2 原子炉設置者による使用済燃料の収納時の措置について

使用済燃料集合体をBWR用大型キャスク（以下「金属キャスク」という。）に収納するに当たっては、基本的安全機能に関する評価で考慮した以下に示す設計条件等を確保するため、契約先である原子炉設置者が収納した使用済燃料集合体の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを、記録により確認する。

なお、使用済燃料集合体の収納状態の確認に必要な事項については貯蔵基本契約等で明確化するとともに、具体的な方法については基本設計方針検査として使用前事業者検査要領書で明確化する。

### (1) 基本的安全機能に関する評価で考慮した設計条件について

#### a. 臨界評価

解析に当たって考慮した因子についての条件及び範囲を第2.2-1表に示す。

#### b. 除熱機能

解析に当たって考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた配置の条件及び範囲を第2.2-2表及び第2.2-1図に示す。

#### c. 遮蔽機能

解析に当たって考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた配置の条件及び範囲を第2.2-2表及び第2.2-3表に示す。

なお、第2.2-2表において、「新型8×8ジルコニウムライナ燃料」と「高燃焼度8×8燃料」を収納する場合を第2.2-1表の「配置A」、  
「新型8×8ジルコニウムライナ燃料」と「新型8×8燃料」を混載する場合を同表の「配置B」、「新型8×8燃料」のみを収納する場合を同表の「配置C」とした収納配置としている。

### (2) 使用済燃料集合体の収納状態について

使用済燃料集合体の収納状態については、以下に示す原子炉設置者が行った収納作業の記録を確認することにより行う。

a. 金属キャスクには、運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料集合体を収納する。

b. 金属キャスクは、使用済燃料集合体収納時にその内部を真空乾燥し、

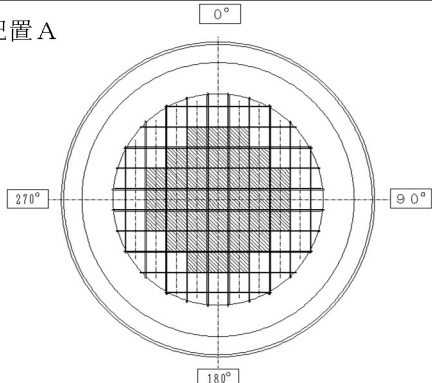
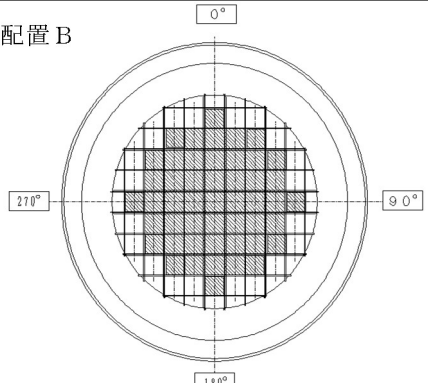
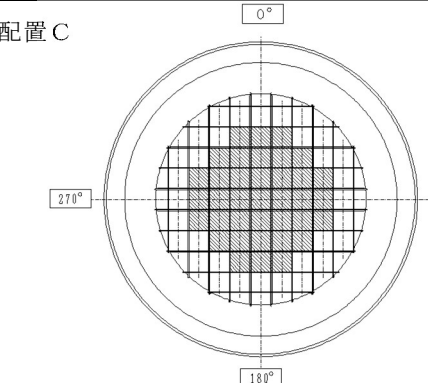
不活性ガスであるヘリウムガスを適切に封入する。その際、燃料被覆管の制限温度を上回らないよう金属キャスク内部の圧力、真空乾燥時間を管理するとともに、真空乾燥時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管から漏えいのないことを確認する。また、使用済燃料集合体の腐食等を防止するため、真空乾燥後の金属キャスク内部の水分は、内部ガスの質量に対して10%以下に管理する。

- c. 金属キャスクには、第2.2-1～3表に基づいて貯蔵する使用済燃料の種類と配置を満足するように使用済燃料集合体を収納する。
- d. 収納時に使用した計測器等については、トレーサビリティが確保されていることを校正記録により確認する

第2.2-1表 使用済燃料の臨界解析に当たって考慮した因子についての条件及び範囲

|                   |                      |                             |                  |
|-------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|
| 金属キャスクの寸法 (m)     | 全長：約 5.4<br>外径：約 2.5 |                             |                  |
| 最大収納体数 (体)        | 69                   |                             |                  |
| バスケットの材料          | ボロン添加ステンレス鋼          |                             |                  |
| 収納する使用済燃料の種類      | 新型 8 × 8 燃料          | 新型 8 × 8<br>ジルコニウム<br>ライナ燃料 | 高燃焼度<br>8 × 8 燃料 |
| 最高燃焼度 (MWd/t)     | 34,000               | 40,000                      | 40,000           |
| 原子炉から取出後の期間 (年以上) | 24                   | 18                          | 18               |

第 2.2-2 表 解析に当たって考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた配置の条件及び範囲

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



第 2.2-3 表 BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の線源強度 (キャスク 1 基当たり)

| 使用済燃料の種類                              |  | 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料 | 高燃焼度 8 × 8 燃料        | 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料と<br>新型 8 × 8 燃料 | 新型 8 × 8 燃料          |
|---------------------------------------|--|----------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 線<br>源<br>強<br>度<br><small>注)</small> | 燃料有効部のガンマ線の線源強度 (photons/s)              | $8.9 \times 10^{16}$ | $8.9 \times 10^{16}$ | $7.1 \times 10^{16}$                 | $5.8 \times 10^{16}$ |
|                                       | 構造材放射化ガンマ線の線源強度 ( $^{60}\text{Co}$ : Bq) | $1.3 \times 10^{14}$ | $1.3 \times 10^{14}$ | $5.5 \times 10^{13}$                 | $4.6 \times 10^{13}$ |
|                                       | 全中性子源強度 (n/s)                            | $1.4 \times 10^{10}$ | $1.0 \times 10^{10}$ | $7.5 \times 10^9$                    | $2.9 \times 10^9$    |
| 収納配置<br>(第 2.2-2 表)                   |  | 配置 A                 | 配置 A                 | 配置 B                                 | 配置 C                 |

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

### 3. BWR用大型キャスク（タイプ2 A）の搬出に向けた備えに関する補足事項

#### 3.1 基本的考え方

R F Sで貯蔵する金属キャスク（容器）は、異常時や貯蔵後の搬出に備え、原子炉設置者による原子炉等規制法第五十九条第三項に基づく容器承認の有効性を確認する。

#### 3.2 R F Sでの貯蔵中に行う検査

R F Sでの貯蔵中には、R F Sの定期事業者検査に加え、容器承認維持のために原子炉設置者が行う検査（第3-1表「容器承認維持のための検査」）<sup>※1</sup>を行う必要がある。

R F Sでは、金属キャスクについて、日本原子力学会標準「使用済燃料貯蔵施設設計用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010」（2010年7月）（以下「原子力学会標準」という。）の「貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）」<sup>※2</sup>を参考に、基本的安全機能の健全性を維持するために必要な定期事業者検査（第3-1表「R F Sが行う定期事業者検査（案）」）を検討している。

※1：原子炉設置者の容器承認書（製造番号：HDP-69B型 1号機）「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項」には、核燃料輸送物設計承認書（平成31年3月29日付け原規規発第1903293号、核燃料輸送物の名称：HDP-69B型）「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項」を遵守して実施することとされている。

さらに、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続きガイド（令和2年2月 原子力規制委員会）」（以下「容器承認手続きガイド」という。）に基づき、同核燃料輸送物設計承認書「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項」により承認された核燃料輸送物設計承認申請書別紙「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」に記載した検査（緩衝体及び三次蓋の目視検査の記録確認を含む。）を行う必要がある。

※2：緩衝体及び三次蓋は検査対象に含まれていない。

第3-1表 RFSでの貯蔵中に行う検査の概要

| 原子炉設置者が行う<br>容器承認維持のための検査 <sup>※1</sup> |                        | RFSが行う定期事業者検査（案）<br>（以下に示す原子力学会標準の貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）をベースとする。） |  |
|---|------------------------|--|--|
| 外観検査                                    | ・ 輸送容器の外観検査を行う。        | 外観検査   | ・ 金属キャスクの設置位置，設置状態について目視にて確認する。 <sup>※2</sup><br>・ 金属キャスク（トラニオン部含む。）及び金属キャスク支持架台について目視にて確認する |
| 吊上検査                                    | ・ 輸送容器のトラニオン部の外観検査を行う。 |  |  |
| 気密漏えい検査                                 | ・ 輸送容器の二重蓋間圧力検査を行う。    | 二重蓋間圧力検査   | ・ 二重蓋間の連続監視記録を確認する。  |
| 遮蔽検査                                    | ・ 代表容器の遮蔽性能検査を行う。      | 遮蔽性能検査   | ・ 代表キャスクについて，キャスク表面線量当量率測定を貯蔵中定期的に行う。 <sup>※3</sup>  |
| 未臨界検査                                   | ・ 輸送容器の未臨界検査を行う。       | 未臨界検査  | ・ 発電所搬出前の未臨界検査及び収納物検査を確認する。<br>・ 貯蔵期間中の外観検査，二重蓋間圧力検査及び表面温度検査を確認する。                           |
| —                                       | —                      | 表面温度検査   | ・ 金属キャスクの表面温度を測定する。  |
| 熱検査                                     | ・ 代表容器の伝熱検査を行う。        | 伝熱検査   | ・ 代表キャスクについて，各部温度を測定するか，貯蔵中の表面温度検査の記録を貯蔵中定期的に確認する。 <sup>※3</sup>                             |

※1：容器承認手続きガイドに基づき，核燃料輸送物設計承認書（平成31年3月29日付け原規規発第1903293号，核燃料輸送物の名称：HDP-69B型）「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項」により承認された核燃料輸送物設計承認申請書別紙「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」に記載した検査（緩衝体及び三次蓋の外観検査を含む。）を行う。

※2：緩衝体及び三次蓋は検査対象に含まれていない。

※3：金属キャスクの貯蔵期間中検査の考え方を踏まえて，6～10年の長期間に1回程度の頻度で検査を行うこととする。

### 3.3 R F Sでの貯蔵中に行う検査への対応方針

R F Sで貯蔵する金属キャスク（容器）については，異常時や貯蔵後の搬出に必要な容器承認の有効性を確保するため以下の対応を行う。

#### a．搬入時の対応方針

搬入する金属キャスクは，原子炉等規制法第五十九条に基づく承認を受けた容器であることを確認する（貯蔵開始時の検査に関する対応であるため，「別添Ⅲ 2 工事の方法（金属キャスク）」の「3. 工事上の留意事項」に記載する）。

#### b．貯蔵中の対応方針

貯蔵開始以降の異常時や貯蔵後の搬出に備え，同条に基づく原子炉設置者が行う容器承認維持のための検査に対して必要な助勢やデータ提供を行う。

以上の措置（検査の分担等）について，金属キャスクの搬入前に搬出元である原子炉設置者との間で取り決めを行い，貯蔵期間中における原子炉設置者が行う当該措置の履行状況を確認する（貯蔵開始後の維持管理に関する対応であるため，「別添Ⅰ 2.1 使用済燃料貯蔵設備本体」の金属キャスクの基本設計方針に記載する）。

なお，当該措置の履行状況について確認することを保安規定に定め運用する。

以 上