

2.31 5・6号機 構内用輸送容器

2.31.1 設備の概要

構内用輸送容器（使用済燃料輸送容器）は、福島第一原子力発電所第5，6号機使用済燃料プールに貯蔵されている使用済燃料（以下、「燃料」という。）を共用プールへ構内輸送する際に使用する容器である。

なお，NFT-12B型及びNFT-22B型の構内用輸送容器は，8×8燃料，新型8×8燃料，新型8×8ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度8×8燃料及び9×9燃料の構内輸送に使用することとする。また，NFT-12B型の構内用輸送容器は震災前の原子炉運転中に被覆管から放射性物質の漏えいのあった福島第一原子力発電所第6号機の燃料（以下「6号機漏えい燃料」という。）の構内輸送に使用することとする。ここで，使用済燃料プール又は炉内で19ヶ月以上冷却した燃料を構内用輸送容器で輸送する。

2.31.2 要求される機能

構内用輸送容器は，除熱，密封，遮へい，臨界防止，構造強度を考慮した設計とする。

2.31.3 主要な機器

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B型）

構内用輸送容器（NFT-12B型）については，以下の書類（既存評価）にて7×7燃料，8×8燃料，新型8×8燃料，新型8×8ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度8×8燃料及び9×9燃料の運搬に係わる安全機能が評価されている。このため既存評価を適用することとする。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B型）

（平成29年1月10日申請，原燃輸送株式会社）

6号機漏えい燃料の輸送については，以下の書類（既存評価）にて評価された事項が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B型）

構内用輸送容器（NFT-22B型）については，以下の書類（既存評価）にて7×7燃料，8×8燃料，新型8×8燃料，新型8×8ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度8×8燃料及び9×9燃料の運搬に係わる安全機能が評価されている。このため既存評価を適用することとする。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B型）

（平成22年10月28日申請，原燃輸送株式会社）

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B型）
（平成24年1月13日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.4 除熱

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B型）

除熱については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B型）
（平成29年1月10日申請，原燃輸送株式会社）

6号機漏えい燃料の輸送時の除熱については，以下の既存評価が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B型）

除熱については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B型）
（平成22年10月28日申請，原燃輸送株式会社）
- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B型）
（平成24年1月13日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.5 密封

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B型）

密封については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B型）
（平成29年1月10日申請，原燃輸送株式会社）

6号機漏えい燃料の輸送時の密封については，以下の既存評価が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B型）

密封については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B型）
（平成22年10月28日申請，原燃輸送株式会社）

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B 型）
（平成 24 年 1 月 13 日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.6 遮へい

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B 型）

遮へいについては，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B 型）
（平成 29 年 1 月 10 日申請，原燃輸送株式会社）

6 号機漏えい燃料の輸送時の遮へいについては，以下の既存評価が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B 型）

遮へいについては，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B 型）
（平成 22 年 10 月 28 日申請，原燃輸送株式会社）
- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B 型）
（平成 24 年 1 月 13 日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.7 臨界防止

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B 型）

臨界防止については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B 型）
（平成 29 年 1 月 10 日申請，原燃輸送株式会社）

6 号機漏えい燃料の輸送時の臨界防止については，以下の既存評価が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B 型）

臨界防止については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B 型）
（平成 22 年 10 月 28 日申請，原燃輸送株式会社）

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B 型）
（平成 24 年 1 月 13 日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.8 構造強度

(1) 構内用輸送容器（NFT-12B 型）

構造強度については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-12B 型）
（平成 29 年 1 月 10 日申請，原燃輸送株式会社）

6 号機漏えい燃料の輸送時の構造強度については，以下の既存評価が適用可能であることを確認している。

- ・福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
（添付資料-2-1-3）

(2) 構内用輸送容器（NFT-22B 型）

構造強度については，以下の既存評価により確認している。

- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書（NFT-22B 型）
（平成 22 年 10 月 28 日申請，原燃輸送株式会社）
- ・核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について（NFT-22B 型）
（平成 24 年 1 月 13 日申請，原燃輸送株式会社）

2.31.9 添付資料

添付資料－1 6 号機漏えい燃料取り出しに用いる構内用輸送容器について

6号機漏えい燃料取り出しに用いる構内用輸送容器について

1 はじめに

「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備」では，構内用輸送容器（NF T－1 2 B型）による4号機漏えい燃料取り出しについて評価をしている。

6号機使用済燃料プールに保管されている漏えい燃料取り出しにおいては，4号機漏えい燃料取り出しと同様に構内用輸送容器（NF T－1 2 B型）を用いる。

4号機漏えい燃料取り出しにおける評価を6号機漏えい燃料取り出しに適用可能か検討し，構内用輸送容器（NF T－1 2 B型）による6号機漏えい燃料取り出しが可能であるか確認した。その結果を以下に示す。

2 6号機漏えい燃料

6号機漏えい燃料（1体）は，原子炉停止後 SHIPPING 検査により漏えいが確認された燃料である。震災前に超音波装置を用いて漏えい燃料棒が特定されている。またファイバースコープ装置による漏えい燃料棒の観察の結果，異物の混入，変形，腐食や損傷等の異常は認められなかった。

3 評価項目について

4号機漏えい燃料取り出しに用いる構内用輸送容器の評価について，除熱評価，遮へい評価，臨界防止評価，構造強度評価，密封評価，構内用輸送容器の落下評価，の6項目を評価している。

上記評価について，4号機の評価条件が適用可能か検討を行った。

3.1 除熱評価

4号機漏えい燃料と6号機漏えい燃料の比較を表3.1に示す。4号機漏えい燃料棒が2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本であること，及び4号機漏えい燃料2体いずれと比較しても6号機漏えい燃料は平均燃焼度が低く冷却期間が長いことから，6号機漏えい燃料棒1本分の崩壊熱量は4号機漏えい燃料棒2本分の崩壊熱量より小さくなる。

したがって，4号機の除熱評価を6号機の除熱評価に適用可能である。

表 3.1 4号機漏えい燃料及び6号機漏えい燃料の燃料仕様の比較

	4号機漏えい燃料 (F 4 U N 4)	4号機漏えい燃料 (F 4 U N 2 2)	6号機漏えい燃料 (F 6 S N 5 5)
燃料タイプ	9×9 B型	9×9 B型	9×9 B型
漏えい燃料棒数	1本	1本	1本
平均燃焼度	33212 MWd/t	22883 MWd/t	1974 MWd/t
冷却期間	2348 日 ^{※1}	2891 日 ^{※2}	7504 日 ^{※3}
ペレット最高濃縮度	4.9 wt%		4.9 wt%

※1 炉停止日2008年3月28日から2014年9月1日までの日数

※2 炉停止日2006年10月2日から2014年9月1日までの日数

※3 炉停止日2001年5月16日から2021年12月1日までの日数

3.2 遮へい評価

4号機漏えい燃料と6号機漏えい燃料の比較を表3.1に示す。4号機漏えい燃料棒が2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本であること、及び4号機漏えい燃料2体いずれと比較しても6号機漏えい燃料は平均燃焼度が低く冷却期間が長いことから、6号機漏えい燃料棒1本分の線源強度は4号機漏えい燃料棒2本分の線源強度より小さくなる。

したがって、4号機の遮へい評価を6号機の遮へい評価に適用可能である。

3.3 臨界防止評価

4号機漏えい燃料における臨界防止評価では、漏えい燃料2体を収納した条件で評価している。6号機漏えい燃料は1体であるため、6号機漏えい燃料における臨界防止評価は4号機における評価に包含される。

したがって、4号機の臨界防止評価を6号機の臨界防止評価に適用可能である。

3.4 構造強度評価

6号機燃料輸送のハンドリングフローは、4号機燃料輸送と同様であることを確認している。また、設計事象の中で使用する衝撃加速度のパラメータにおいても、4号機燃料輸送と差異がないことを確認している。

したがって、4号機の構造強度評価を6号機の構造強度評価に適用可能である。

3.5 密封評価

密封評価にあたっては、構造強度評価及び除熱評価の結果から、構内用輸送容器の密封性能が維持されることを確認する。6号機の構造強度及び除熱評価については、それぞれ4号機の評価が適用可能であることを確認している。

したがって、4号機の密封評価を6号機の密封評価に適用可能である。

3.6 構内用輸送容器の落下評価

構内用輸送容器の取扱い中に何らかの原因で構内用輸送容器が落下して密封境界が破損し放射性物質が環境に放出されることを想定して、敷地境界外の実効線量を評価する。

3.6.1 核分裂生成物の放出量

構内用輸送容器が落下して、構内用輸送容器に収納された燃料集合体12体が破損するものと仮定する。6号機9×9健全燃料と核燃料輸送物設計承認書（以下SAR）の9×9燃料（NFT-12B型の燃料仕様）を比較検討する（表3.6-1）。6号機9×9健全燃料は平均燃焼度が低く冷却期間が長いため、SAR9×9燃料より放射能強度が小さくなる。したがって、SAR9×9燃料が安全側の評価となるため、SAR9×9燃料を元に大気中への放出量を決定する（表3.6-2）。また、以下の評価条件については4号機の評価と同様とする。

- (1) 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が構内用輸送容器内に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス（Kr-85）及びよう素（I-129）それぞれ30%とする。
- (2) 放出された希ガスは、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとする。
- (3) 放出されたよう素は、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとし、構内用輸送容器に内包する水による除去はないものとする。

上記の条件をもとに計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表3.6-2の通りである。

表3.6-1 6号機9×9健全燃料とSAR9×9燃料の比較

	SAR9×9燃料 (NFT-12B型)	6号機9×9健全燃料
最高燃焼度	55000 MWd/t	50151 MWd/t
平均燃焼度	50000 MWd/t	49087 MWd/t ^{※1}
冷却期間	760 日	4127 日 ^{※2}
放射能強度	1.19×10^{17} Bq	-

※1 6号機9×9健全燃料の燃焼度上位12体の平均値

※2 炉停止日2010年8月14日から2021年12月1日までの日数

表3.6-2 核分裂生成物の大気中への放出量

放射性ガス	放出量
希ガス	約 2.5×10^{14} Bq
よう素	約 1.1×10^9 Bq

3.6.2 線量当量の評価

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。なお、実効線量の評価式中の相対濃度 χ/Q 及び相対線量 D/Q は、「II 2.1 原子炉压力容器・格納容器注水設備添付資料 5 別紙 1」に記載の主蒸気管破断（地上放出）と同じ条件で求めた値を適用する（表 3.6-3）。

よう素の内部被ばくによる実効線量 H_I (Sv) は、(3.1) 式で計算する。

$$H_I = R \cdot H \cdot \chi/Q \cdot Q_I \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

- R : 呼吸率 (m³/s) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。
(小児：0.31 m³/h, 成人：1.2 m³/h)
- H : よう素 (I-129) を 1 Bq 吸入した場合の実効線量は ICRP Publ. 72 の値を用いる。
(小児：2.0×10⁻⁷ Sv/Bq, 成人：9.6×10⁻⁸ Sv/Bq)
- χ/Q : 相対濃度 (s/m³)
- Q_I : よう素の大気放出量 (Bq)

希ガスの γ 線外部被ばくによる実効線量 H_γ (Sv) は、(3.2) 式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D/Q \cdot Q_K \cdot E_\gamma/0.5 \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、

- K : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1 Sv/Gy)
- D/Q : 相対線量 (Gy/Bq)
- Q_K : 希ガスの大気放出量 (Bq)
- E_γ : γ 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.0022 MeV)

また、希ガスの β 線外部被ばくによる実効線量 H_β (Sv) は、(3.3) 式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi/Q \cdot Q_K \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \dots \dots \dots (3.3)$$

ここで、

- χ/Q : 相対濃度 (s/m³)
- Q_K : 希ガスの大気放出量 (Bq)
- E_β : β 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV)
- W_{TS} : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publ. 60 の値を用いる。(0.01)

表 3.6-3 6号機の相対濃度 (χ/Q) 及び相対線量 (D/Q)

相対濃度	$4.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$
相対線量	$4.9 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$

敷地境界外の実効線量を評価した結果は表 3.6-4 の通りである。4号機と同様、公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さいものと考えられることができる。

表 3.6-4 構内用輸送容器の落下時の実効線量

	小児	成人
よう素の γ 線による実効線量	$8.2 \times 10^{-4} \text{ mSv}$	$1.6 \times 10^{-3} \text{ mSv}$
希ガスの γ 線による実効線量	$5.4 \times 10^{-4} \text{ mSv}$	$5.4 \times 10^{-4} \text{ mSv}$
希ガスの β 線による実効線量	$1.7 \times 10^{-3} \text{ mSv}$	$1.7 \times 10^{-3} \text{ mSv}$
実効線量 (合計)	$3.1 \times 10^{-3} \text{ mSv}$	$3.8 \times 10^{-3} \text{ mSv}$

4 結論

「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画Ⅱ 特定原子力施設の設計、設備 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備」にて評価された事項が、6号機漏えい燃料取り出しの評価に適用可能である。したがって、構内用輸送容器 (NFT-12B型) による6号機漏えい燃料取り出しが可能である。