

資料 1 - 3

伊方発電所 2 号炉 審査資料	
資料番号	6-2 改 2
提出年月日	令和 4 年 5 月 26 日

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

伊方発電所 2 号炉

使用済燃料輸送容器への漏えい燃料の

収納に係る影響評価について

< 補足説明資料 >

令和 4 年 5 月
四国電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 伊方発電所2号炉に貯蔵している漏えい燃料について	1
3. 構内輸送に用いる使用済燃料輸送容器について	2
3. 1 使用済燃料輸送容器の概要	2
3. 2 漏えい燃料の収納条件	3
4. 漏えい燃料の構内輸送における技術基準適合性への影響について	5
4. 1 既認可における適合性評価	5
4. 2 漏えい燃料収納による既認可への影響	5
4. 3 臨界評価への影響	9
4. 4 遮蔽評価への影響	11
5. まとめ	12
(参考1) クランプが脱落した燃料について	13
(参考2) 外運搬規則への影響について	16

1. はじめに

本資料は、廃止措置計画認可申請書「六 性能維持施設」に追加した使用済燃料輸送容器を使用して漏えい燃料を構内輸送できるよう、漏えい燃料を収納する際の影響について評価し、既許認可の評価に包絡されること及び技術基準適合性への影響がないことを説明する。

2. 伊方発電所 2 号炉に貯蔵している漏えい燃料について

伊方発電所の 2 号炉の使用済燃料ピット内には、表 1 に示すとおり、漏えい燃料（燃料棒の被覆管に微小な貫通穴等が発生した燃料）を 3 体貯蔵している。D08 と I48 については、燃料棒調査（UT 調査）およびファイバースコープによる外観の調査により、漏えい燃料棒が 1 本であることを特定している。一方、S03 については、UT 調査の結果、漏えい燃料棒と判定できる燃料棒は確認されず、ファイバースコープによる外観調査においても異常が認められなかったことから、貫通に至った箇所は極めて小さいことがわかっている。したがって、S03 の漏えい燃料棒は 1 本であるとして「4. 3 臨界評価への影響」および「4. 4 遮蔽評価への影響」の評価を行う。

表1 伊方発電所2号炉に貯蔵している漏えい燃料

燃料番号	D08	I48	S03
照射終了日	昭和59年6月8日	平成4年4月10日	平成18年10月11日
初期濃縮度	約3.3wt%	約3.4wt%	約4.1wt%
燃焼度	<input type="text"/> MWd/t	<input type="text"/> MWd/t	<input type="text"/> MWd/t
SHIPPING 検査時期	昭和59年7月 (第2回定検)	平成4年5月 (第8回定検)	平成18年10月 (第19回定検)
UT調査の 結果※	漏えい燃料棒1本を 特定	漏えい燃料棒1本を 特定	判定不可(貫通箇所 は極めて小さい)

※：UT調査と併せてファイバースコープによる外観調査を実施

漏えい燃料については、通常の使用済燃料と同様に取り扱うことができ、既許認可設備である使用済燃料ピット内の使用済燃料ラックにおいて貯蔵が可能であるため、廃止措置計画のとおり、原子炉領域周辺設備解体撤去期間の開始までに、2号炉との共用設備である3号炉の使用済燃料ピットに搬出し、再処理事業者への譲渡しまでの期間、同設備にて貯蔵する計画である。

3. 構内輸送に用いる使用済燃料輸送容器について

3.1 使用済燃料輸送容器の概要

漏えい燃料の2号炉から3号炉の構内輸送にあたっては、使用済燃料の構内輸送に用いる燃料取扱設備として、平成24年4月3日付け平成24・02・22原第5号(以下「既認可」という。)にて工事計画認可を受けている使用済燃料輸送容器(NFT-14P型)(以下「本容器」という。)を用いることとする。

なお、本容器は伊方発電所1, 2号炉共用設備として工事計画の認可を

受け、平成10年7月より使用済燃料運搬用容器として使用しており、保安規定に基づく施設管理を実施している。

また、本容器は使用済燃料を再処理工場へ輸送することも可能なよう設計・製造された容器であり、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（以下「外運搬規則」という。）第22条に定める承認（容器承認）を受けた容器（承認容器登録番号S16B139）である¹。

3. 2 漏えい燃料の収納条件

漏えい燃料を収納する際の収納条件については表2のとおりとする。

¹ 最新の容器承認の有効期限は平成28年10月11日から令和3年10月10日であるが、本容器の所有者は容器承認を再取得するための維持管理を継続して実施している。

表 2 燃料の収納条件

	漏えい燃料を収納する際の 収納条件		既認可
	(漏えい燃料)	(通常燃料)	
燃料タイプ (制限燃焼度)	14×14 配列型 (<input type="text"/> MWd/t)	14×14 配列型 (<input type="text"/> MWd/t)	14×14 配列型 (<input type="text"/> MWd/t)
平均燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
冷却期間 (日以上)	<input type="text"/>	<input type="text"/> 注 1)	<input type="text"/>
初期濃縮度 (wt%以下)	4.2	4.2	4.9
収納体数 (体以下)	3注 2)	14	14
発熱量 (kW 以下)	54		54
放射能強度 (PBq 以下)	<input type="text"/>		<input type="text"/>

注 1) 平均燃焼度 MWd/t の燃料に対する冷却期間 日は、平均燃焼度 MWd/t の燃料に対する冷却期間 日に相当。

注 2) 漏えい燃料の配置については、図 1 のとおりとする。

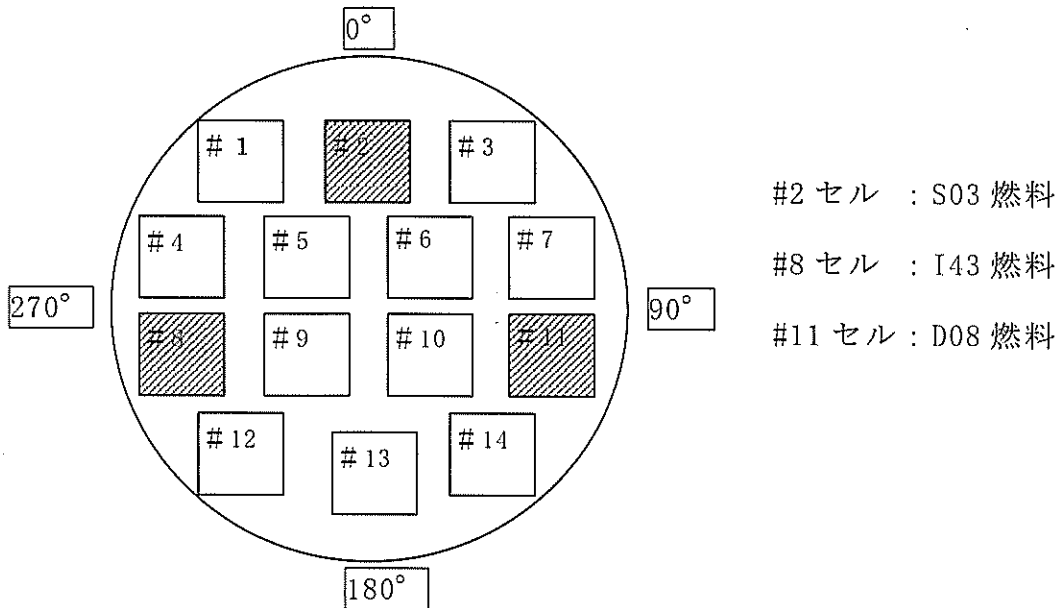


図1 漏えい燃料の配置

4. 漏えい燃料の構内輸送における技術基準適合性への影響について

4. 1 既認可における適合性評価

本容器は、外運搬規則第21条第2項に定める承認（核燃料輸送物設計承認²⁾）においてBM型核分裂性輸送物に係る安全機能が確認されている。

このため、既認可における発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（以下「省令62号」という。）第26条に定める技術基準への適合性については、外運搬規則に定めるBM型核分裂性輸送物に係る技術基準への適合性評価を用いて説明している。

4. 2 漏えい燃料収納による既認可への影響

既認可は通常の燃料を収納することを前提としていることから、漏えい燃料を収納することによる、省令62号第26条への適合性に係る影響については表3に示す。

²⁾ 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技術上の基準に係る細目等を定める告示第四十一条第2項に基づく承認

表3 省令62号第26条への適合性に係る影響(1/3)

省令62号 第26条第1項	既認可における適合性	漏えい燃料を 収納することによる影響
<p>一 通常運転時において使用する燃料を取り扱う能力を有するものであること。</p>	<p>燃料集合体は14体収納でき、使用済燃料輸送容器本体はクレーンを使用して安全に取り扱える構造である。</p>	<p>燃料集合体の収納体数及び使用済燃料輸送容器に変更がないため、適合性への影響なし。</p>
<p>二 燃料が臨界に達するおそれがない構造であること。</p>	<p>一般の試験条件及び特別の試験条件における構造解析の結果より、当該試験条件における燃料被覆管が健全であることを前提とした解析モデルを用い、無限個配列を想定した解析を行った結果、実効増倍率は0.95以下であり臨界に達するおそれはない。</p>	<p><u>特別の試験条件においては、燃料被覆管の健全性が担保</u>されないことから、<u>適合性への影響が考えられる。</u></p>

表3 省令62号第26条への適合性に係る影響（2/3）

省令62号 第26条第1項	既認可における適合性	漏えい燃料を 収納することによる影響
三 崩壊熱により燃料が溶融しないものであること。	一般の試験条件及び特別の試験条件における熱解析を行った結果、燃料集合体温度は各々184℃及び214℃であるので、溶融するおそれはない。	崩壊熱量は既認可評価から変更がないため、適合性への影響なし。
五 燃料を封入する容器は、取扱い中における衝撃、熱等に耐え、かつ、容易に破損しないものであること。	本運搬用容器は、運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、一般の試験条件及び特別の試験条件下（落下試験、熱的試験及び浸漬試験）におけるOリング位置でのふたとフランジとの相対口開き変形量の評価で、密封性能が損なわれることはない。	密封装置である容器本体に変更がないため、適合性への影響なし。

表3 省令62号第26条への適合性に係る影響(3/3)

省令62号 第26条第1項	既認可における適合性	漏えい燃料を 収納することによる影響
<p>六 前号の容器は、内部に燃料を入れた場合に、放射線障害を防止するため、その表面の線量当量率及びその表面から一メートルの距離における線量当量率がそれぞれ別に告示する線量当量率を超えないように遮蔽できるものであること。</p>	<p>本運搬用容器は、最大放射能の収納物を収納しても、通常輸送時の容器表面の最大表面線量当量率は1.2614mSv/h、容器表面から1mの距離における最大表面線量当量率は79.0μSv/hであり、基準値を超えることはない。</p> <p>また、一般の試験条件下における容器表面の最大表面線量当量率は1.2614mSv/hであり、容器表面における最大線量当量率の著しい増加はない。</p> <p>特別の試験条件下における容器表面から1m離れた位置での最大線量当量率は2.4221mSv/hであり、基準値[*]を超えることはない。</p>	<p>特別の試験条件においては、<u>燃料被覆管の健全性が担保できな</u>いことから、<u>適合性への影響が考えられる。</u></p>

※：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技術上の基準に係る細目等を定める告示に規定される

基準値

4. 3 臨界評価への影響

特別の試験条件においては、燃料被覆管の健全性が担保できないことから、臨界評価への影響を確認する。特別の試験条件での実効増倍率について、表 4 に示すとおり、濃縮度 4.2wt%の新燃料 14 体（うち通常の燃料 11 体、漏えい燃料 3 体）による評価を実施した。

表 4 臨界解析条件の比較

		今回評価	既認可
燃料条件		通常の燃料 11 体 （濃縮度 4.2wt%、新燃料）、 漏えい燃料 3 体 （濃縮度 4.2wt%、新燃料、 燃料棒 1 本を <input type="text"/> ）、 燃料棒 3 本分のペレット <input type="text"/> （濃縮度 4.2wt%、新燃料）	通常の燃料 14 体 （濃縮度 4.9wt%、 新燃料）
解析 手法	解析コード	SCALE 6.2.1	SCALE 5.1
	システム		
	燃料棒モデル	<input type="text"/> モデル	<input type="text"/> モデル
	ヒストリー数	<input type="text"/>	<input type="text"/>

ここで、漏えい燃料については、それぞれ燃料棒 1 本が破損し、ペレット脱落に伴い、影響を考慮する。また、脱落した合計燃料棒 3 本分のペレットの を想定した影響も考慮した評価を実施する。漏えい燃料の収納位置及びペレットの は実効増倍率が最大となるように図 2 のとおりモデル化している。

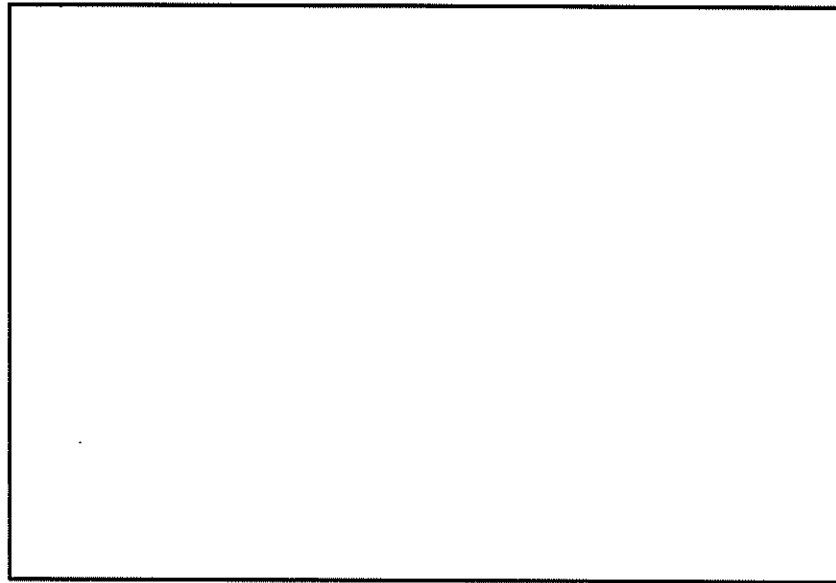


図 2 脱落ペレットの

既認可においては、モデルを用いた評価を実施しているが、今回の評価においては、ペレットの脱落を詳細に模擬するため燃料棒をにモデル化し、解析コードシステム SCALE6.2.1 を使用した上で、計算履歴数をとする等、燃料モデルと解析コードに関しては近年のキャスク評価³に用いられている手法を採用しているが、容器の寸法、燃料の容器内位置等、他の条件は既認可と同じとしている。

評価の結果、表 5 に示すとおり、キャスク内で脱落したペレットが場合を考慮しても既認可における評価結果に包絡され、技術基準を満足する。

³ MSF-32P 型 核燃料輸送物設計承認（原規規発第 2011303 号 令和 2 年 11 月 30 日付け承認）

表 5 臨界解析結果の比較

今回評価			既認可 [※]			基準
keff	σ	keff+3 σ	keff	σ	keff+3 σ	keff+3 σ
0.89521	0.00050	0.89671	0.91959	0.00114	0.92301	0.95 以下

※：実効増倍率が最大のケースを示す。

4. 4 遮蔽評価への影響

特別の試験条件においては、燃料被覆管の健全性が担保できないことから、遮蔽評価への影響を確認する。特別の試験条件下での輸送容器の表面から 1m の位置における線量当量率について、表 6 示すとおり、燃焼度 \square GWd/t の通常の燃料 14 体による寄与と、燃焼度 \square GWd/t の漏えい燃料から脱落した燃料棒 3 本分のペレットによる寄与を足し合わせた評価を実施した。

表 6 遮蔽解析条件の比較

今回評価	既認可
通常の燃料 14 体 (平均燃焼度 \square GWd/t、 \square 日冷却) 及び、燃料棒 3 本分のペレット (平均燃焼度 \square GWd/t、 \square 日冷却)	通常の燃料 14 体 (平均燃焼度 \square GWd/t、 \square 日冷却)

通常の燃料からの線量当量率評価については、既認可と同じ解析コード (DOT-3.5) 及び解析モデルを用いた。また、脱落したペレットからの線量当量率評価については、図 3 の模式図に示すとおり、ペレットの容器内の移動を考慮して、保守的に輸送容器の表面から 1m の位置における線量当量率が高い位置に近い容器内位置にペレットがあるものとし

て、同位置の脱落ペレットからの寄与を ANISN コードを用いて評価した。

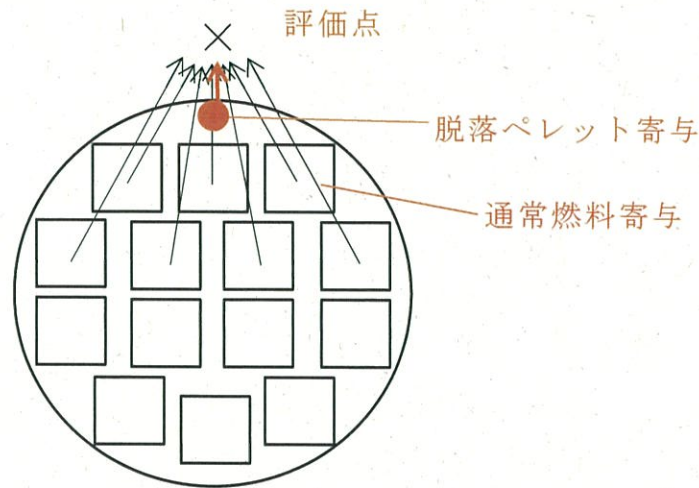


図 3 評価モデルの模式図

評価の結果、表 7 に示すとおり、容器内で脱落したペレットの影響を考慮しても、既認可における評価結果に包絡され、技術基準を満足する。

表 7 遮蔽解析結果の比較 ($\mu\text{Sv/h}$)

	今回評価	既認可※	基準
燃料集合体	2,198.4	2,422.1	—
脱落ペレット	49.5	—	
合計	2,247.9	2,422.1	10,000 以下

※：線量当量率が最大のケースを示す。

5. まとめ

以上のとおり、漏えい燃料を使用済燃料輸送容器に収納した場合においても、既認可における安全評価結果に包絡されるとともに、技術基準適合性への影響はない。

ンプは既に回収している。

参考表 1 伊方発電所 2 号炉 クランプ脱落燃料

燃料番号	D87
照射終了日	昭和 62 年 1 月 19 日
初期濃縮度	約 3.3wt%
燃焼度	<input type="text"/> MWd/t
事象発生時期	昭和 62 年 1 月 (第 4 回定期検査の原子炉内の燃料集 合体上部点検時に脱落を確認)

2. クランプが脱落した燃料被覆管の健全性

当該燃料は炉心に装荷し運転していた際に、クランプが脱落したものであり、脱落后は上部ノズルの外枠内に収まっており、燃料被覆管に接触していないこと及び、取出し後の燃料外観検査において、有意な傷や損傷は確認されていないことから、燃料被覆管の健全性に影響はない。

なお、リーフスプリングは、クランプ脱落后も上部ノズルに結合されているため、通常の燃料と同様に扱うことができる。

3. 構内輸送時の影響

(1) クランプが脱落した燃料の取扱いに関する事項

① キャスクへの燃料装荷/取出時

使用済燃料取扱工具等の取扱工具を使用する際は、掴み不良等の不具合が生じないように取扱工具の着底確認、ラッチ確認、吊上げ重量や目視確認（投込カメラ含む）等、通常の燃料の取扱い時と同じく、確実に取扱いできていることを慎重に確認しながら作業を行うことで、問題なく取り扱う

ことができる。

②構内輸送時

当該燃料のリーフスプリングは、現在も上部ノズルに結合されており、構造上、輸送中でも外れることはない。

(2) 使用済燃料輸送容器の既認可に関する事項

既認可の各評価に対する当該クランプの影響を整理した結果、影響がないことを確認した。

- ・強度評価：燃料集合体における評価対象は燃料被覆管であり、当該クランプは評価対象外であること、また評価対象である燃料被覆管の形状等に係る部材ではないことから影響なし。
- ・未臨界評価：当該クランプは、核分裂性物質ではなく、モデル化対象外であることから影響なし。
- ・遮へい評価：当該クランプは、上部ノズルの一部として均質化しており、クランプの形状はモデル化対象外であることから影響なし。
- ・除熱評価：当該クランプは、発熱しない部材であり、モデル化対象外であることから影響なし。

4. まとめ

以上のとおり、上部ノズルのクランプが脱落した燃料は通常の燃料と同様に取り扱うことができるため、構内輸送することによる安全上への影響はなく、また、使用済燃料輸送容器の既認可への影響もない。

(参考2) 外運搬規則への影響について

漏えい燃料の構内輸送にあたり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（以下「外運搬規則」という。）への適合性の確認は不要であるが、使用済燃料輸送容器（NFT-14P 型）を用いて使用済燃料を再処理工場へ輸送する場合を想定し、外運搬規則への影響について整理する。

今回構内輸送する漏えい燃料は、長期間伊方発電所2号炉の使用済燃料ピットにおいて、適切に保管されていたことから、通常輸送時に漏えい燃料棒から放射性物質が放出される可能性は極めて低いと考えられる。

仮に放出されるとしても放射性物質はガスおよび水溶性の核種が放出されるため、これらの放射性物質は構内輸送完了後の輸送容器の蓋開放時や輸送容器内水の水抜き時に排出される。そのため、漏えい燃料輸送に起因する外運搬規則への影響は無い。