

関西電力(株)高浜発電所 第3、4号機の輸入燃料 体検査申請について

平成21年1月15日
経済産業省
原子力安全・保安院

目 次

- I . BNFL社のMOX燃料データ問題と検査制度の改善について
- II . 輸入燃料体検査について
- III . 詳細設計について
- IV . 品質保証の計画について

I . BNFL社のMOX燃料データ問題 と検査制度の改善について

3

1. MOX燃料導入に関する経緯等

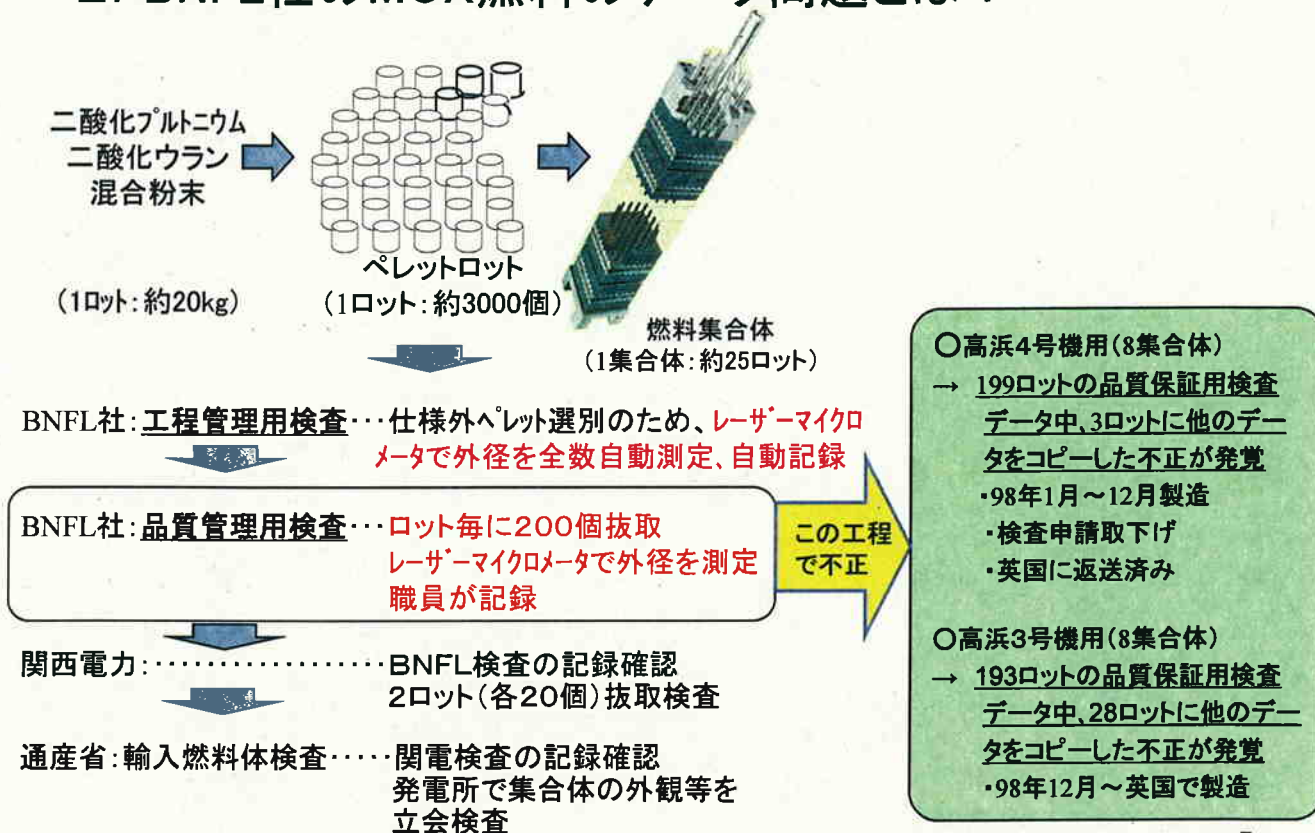
- 平成10年12月16日 原子炉設置変更許可
- 平成11年 9月13日 3号機用MOX燃料体データ問題が発覚
- 平成11年12月16日 4号機用MOX燃料体データ問題が発覚
- 平成12年 7月14日 輸入燃料体検査制度改正
- 平成15年10月23日 関西電力より品質保証活動改善状況報告書の提出
- 平成16年 2月 5日 立入検査等の結果、品質保証体制が構築されていると評価
- 平成16年 8月 9日 美浜3号機の二次系配管破損事故発生
- 平成20年11月10日 輸入燃料体検査申請

今後、以下の手続きが行われる予定。

- 輸入燃料体検査補正申請
- 輸入燃料体検査(燃料体の目視確認)
- 原子炉本体の工事計画認可申請
- 使用前検査

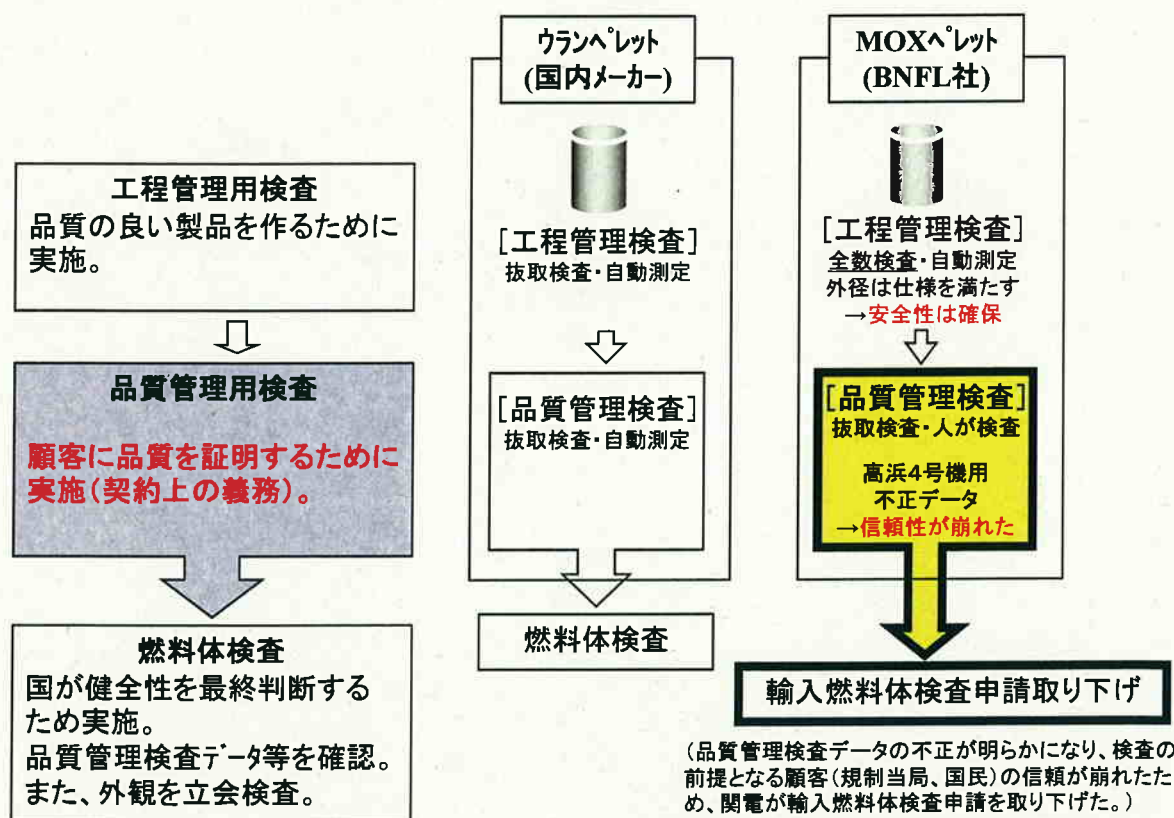
4

2. BNFL社のMOX燃料のデータ問題とは？



5

2. BNFL社のMOX燃料のデータ問題とは？(続き)



6

3. 輸入燃料体検査制度の改善(平成12年7月)

電気事業法施行規則の改正

- 燃料体検査申請書に「品質保証に関する説明書」の添付を義務づけ

MOX燃料体に係る輸入燃料体検査の運用の改善(通達)

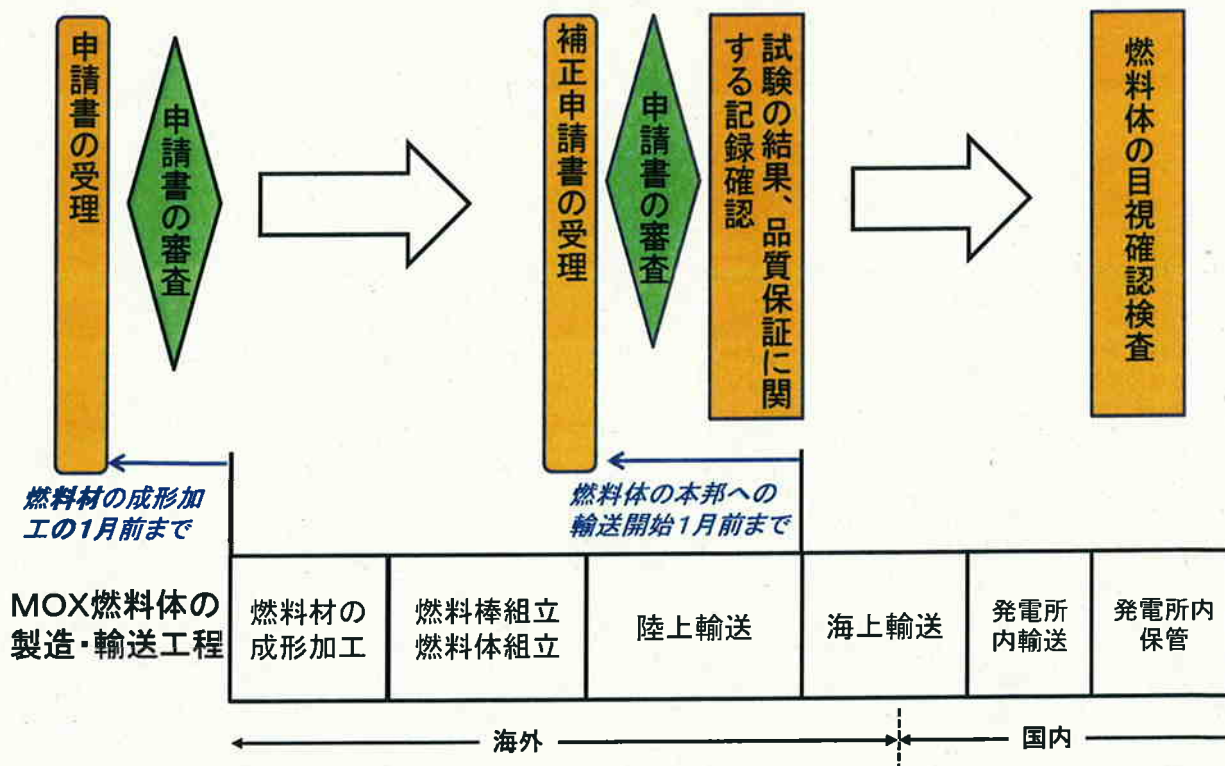
- 設置(変更)許可取得後にMOX燃料体の製造を開始
- MOX燃料の成形加工前に検査申請を行い、試験の計画、品質保証の計画を添付。さらに、製造完了後、日本に向けて海上輸送される前に、試験の結果、品質保証の結果等に関する補正申請を行い、書類審査を受けたうえで、日本においてMOX燃料体の目視確認による検査を実施
- 当分の間、海外燃料工場の品質保証活動の確認の際、第三者機関を活用

7

Ⅱ. 輸入燃料体検査の概要

8

1. MOX輸入燃料体検査の流れ



9

2. 輸入燃料体検査の内容

電気事業法

- ◆輸入した燃料体は、**経済産業大臣の検査**を受け、これに合格した後でなければ、これを使用してはならない。(第51条第3項)
- ◆前項の検査においては、その燃料体が第2項第2号の経済産業省令で定める技術基準に適合しているときは、合格とする。(第51条第4項)

【具体的な検査内容】

- 以下の申請書内容の書類審査(根拠となるデータを含む)
 - 燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐腐食性その他の性能に関する説明書
 - 燃料要素の強度計算書
 - 燃料体の構造図
 - 加工のフローシート
 - 燃料材、燃料被覆材その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の計画に関する資料
 - 品質保証の計画に関する説明書
- (以下は補正申請受理後)
 - 燃料材、燃料被覆材その他の部品の組成、構造、強度等に関する試験の結果に関する資料
 - 品質保証に関する説明書
- 組み立てられた燃料体の目視確認

10

3. 検査における確認項目(例:MOX燃料材)

発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令		検査の項目と方法	
第5条 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料材		次の各号に適合すること	MOX燃料材
第一号 各元素の含有量の全重量に対する百分率の値の偏差	著しく大きくないこと	・不純物 ・ ²³⁵ U濃度 ・プルトニウム含有率 ・プルトニウム組成	記録確認
第二号 酸素の原子数のウラン及びプルトニウムの原子数の合計に対する比率の値	実用上差し支えないこと	・化学成分 O/M比	記録確認
第三号 ウラン235、プルトニウム239及びプルトニウム241の含有量の合計のウラン及びプルトニウムの含有量の合計に対する百分率の値の偏差	著しく大きくないこと	・ ²³⁵ U濃度 ・プルトニウム含有率 ・プルトニウム組成	記録確認
第四号 プルトニウムの均一度	実用上差し支えないこと	・プルトニウム均一度	記録確認
第五号 ペレット型燃料材		(以下のとおり)	
イ 各部分の寸法の偏差	著しく大きくないこと	・寸法	記録確認
ロ 密度の偏差	著しく大きくないこと	・密度	記録確認
ハ 表面の割れ、きず等	有害なものがないこと	・外観 割れ、きず等	記録確認
ニ 表面の油脂、酸化物等の付着物	有害な付着物がないこと	・外観 表面の汚れ	

11

3. 検査における確認項目(例:燃料集合体)

発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令		検査の項目と方法	
第15条 燃料集合体		次の各号に適合すること	燃料集合体
第一号 各部分の寸法の偏差	著しく大きくないこと	・寸法	記録確認
第二号 表面の割れ、きず等	有害なものがないこと	・外観 割れ、きず等	目視による確認、 記録確認
第三号 表面の油脂、酸化物等の付着物	有害な付着物がないこと	・外観 表面の汚れ	
第四号 部品の欠如	部品の欠如がないこと	・外観 部品の欠如	

12

Ⅲ. 詳細設計について

13

1. 発電所の主要な諸元

	高浜3,4号機 (3ループ)
炉心熱出力	約2,652MW
原子炉圧力	約15.5MPa[abs]
1次冷却材全流量	約 45.7×10^6 kg/h
原子炉容器入口1次冷却材温度	約284℃
原子炉容器出口1次冷却材温度	約321℃
線出力密度(定格出力時平均)	約17.1kW/m
MOX燃料体と混在するウラン燃料体の最高燃焼度	48,000MWd/t

14

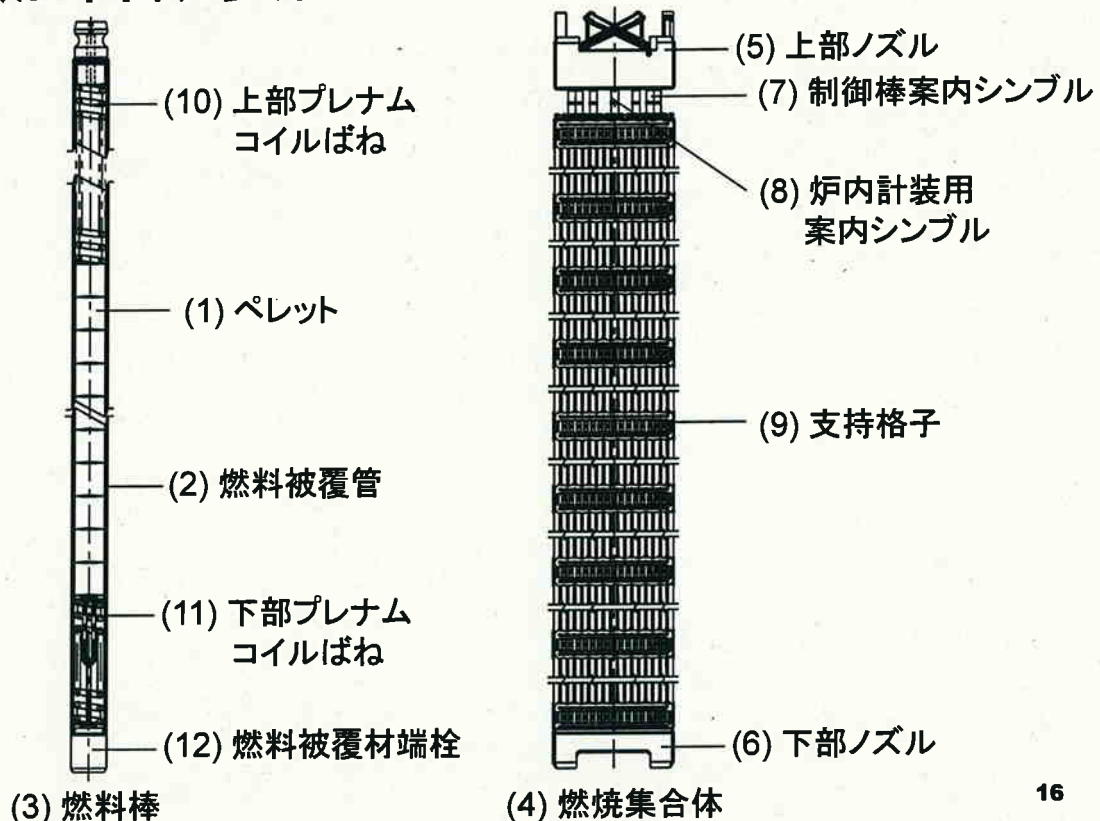
2. 審査の主な観点

輸入燃料体検査申請では、詳細設計の妥当性について、以下のとおり確認。

- 設置許可段階での基本設計の方針を確認。
- 発電用核燃料物質に関する技術基準及び発電用原子力設備に関する技術基準に適合していることを確認。
- 現行のウラン燃料との設計・構造等の比較による確認。

15

3. 燃料概要図



16

4. 燃料の設計仕様比較(1/8)

(1)ペレット

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
プルトニウム含有率 (wt%)	約4.1wt%濃縮ウラン 相当以下	←	—
ウラン235濃度(wt%)	約0.2～約0.4	約0.20	4.10
密度(%T.D.)	約95	約95※	約95※
O/M比	—	約2.00※	約2.00※
直径(mm)	約8.19又は約8.05	8.050	←
長さ(mm)	約11.5	11.5	9

※商業機密に属するため、概略値を記載。

17

4. 燃料の設計仕様比較(2/8)

(2)燃料被覆管

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカローイ-4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカローイ-4)	←
外径(mm)	約9.50	9.50	←
内径(mm)	—	8.22	←
肉厚(mm)	約0.57又は約0.64	0.64	←

18

4. 燃料の設計仕様比較(3/8)

(3)燃料棒

	設置許可	輸入燃料体検査 申請	ウラン燃料 (17×17)
全長(端栓含む)	約3.9m	3852.0mm	←
燃料有効長	約3.66m	3648.0mm	←
数量(集合体当り の本数)	高Pu燃料棒:176 中Pu燃料棒:76 低Pu燃料棒:12	← ← ←	264

19

4. 燃料の設計仕様比較(4/8)

(4)燃料集合体

	設置許可	輸入燃料体検査 申請	ウラン燃料 (17×17)
全長	約4.1m	4035.5mm※	←
断面寸法(最大)(mm)	約214×約214	214.3×214.3	←
燃料棒ピッチ(mm)	約12.6	12.6	←

※ 上部ノズル突起部を除く

20

4. 燃料の設計仕様比較(5/8)

(5)上部ノズル

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	—	ステンレス鋼鋳鋼	←
外寸法(mm)	—	213×213	←

(6)下部ノズル

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	—	ステンレス鋼鋳鋼	←
外寸法(mm)	—	214×214	←

21

4. 燃料の設計仕様比較(6/8)

(7)制御棒案内シンブル

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ-4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカロイ-4)	←
外径(太径部)(mm)	約12.2	12.24	←
外径(細径部)(mm)	約10.9	10.90	←

(8)炉内計装用案内シンブル

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ-4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム 合金(ジルカロイ-4)	←
外径(mm)	約12.2	12.24	←

22

4. 燃料の設計仕様比較(7/8)

(9)支持格子

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ニッケル・クロム・鉄合金	耐食耐熱ニッケル基合金 (インコネル718)	←

(10)上部プレナムコイルばね

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	—	ステンレス鋼	←

(11)下部プレナムコイルばね

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	—	耐食耐熱ニッケル合金	←

23

4. 燃料の設計仕様比較(8/8)

(12)燃料被覆材端栓

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
材料	ジルカロイ-4	Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金 (ジルカロイ-4)	←

(13)燃焼率

	設置許可	輸入燃料体検査申請	ウラン燃料 (17×17)
燃料体最高(MWd/t)	45,000	←	48,000
燃料要素最高(MWd/t)	—	53,000	←
ペレット最高(MWd/t)	約62,000	62,000	←

24

5. 構成部材の性能の確認(1/6)

(1)ペレット[1/2]

【耐熱性】

MOXの溶融点は、二酸化プルトニウムの添加により二酸化ウランに比べて低下し、また、燃焼に伴い低下するが、MOXペレットの中心温度評価結果は、MOXの特性等を考慮して設定した制限値に対して十分小さい。

【耐放射線性】

- ①照射によりペレットの焼きしまり及びスエリングに伴うペレットの密度変化は、測定結果から二酸化ウランペレットと同等。
- ②照射に伴うペレットからのFPガスの放出は、近年得られているMOXペレットの照射後のデータより、二酸化ウランペレットと同程度。
- ③MOXペレットのリム組織の生成機構は、海外でのMOXペレットの照射後の観察結果より、二酸化ウランペレットと同等。

25

5. 構成部材の性能の確認(2/6)

(1)ペレット[2/2]

【耐腐食性】

- ①ペレットと接するステンレス鋼(上部プレナムコイルばね等)との共存性については、国内外での高速炉燃料における照射実績で問題は生じていない。
- ②ジルカロイ-4(燃料被覆管)との共存性については、文献によると、ペレットと接触した場合の燃料被覆管内面酸化膜厚さが二酸化ウラン燃料と同程度。
- ③燃料棒内の充填ガスは不活性ガスのヘリウムであり、MOXペレットとの反応は生じない。
- ④被覆管にピンホールが生じた場合等におけるペレットと水との反応については、MOXは二酸化ウランよりも水との反応等による酸化反応が小さいため、二酸化ウランペレットと同様に1次冷却材に対して安定。

26

5. 構成部材の性能の確認(3/6)

(2) ジルカロイー4(冷間加工応力除去焼鈍材)[1/2]

燃料被覆管に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

【耐熱性】

異常な過渡変化時の燃料被覆管の最高温度は、溶融点及び相変態温度に比べ十分低い。

【耐放射線性】

- ①高速中性子照射量が少し増加するが、実機でのデータによると、引張強さ・耐力は照射初期に増加し、その後の著しい変化はない。また、伸び(延性)は照射初期に低下するが、その後照射量による著しい変化はなく健全性上必要な延性は保持。
- ②疲労特性は、燃料棒強度評価において、実験データにより得られた照射影響を考慮。
- ③クリープ特性は、実験データおよび実機でのデータから得られた特性を、燃料棒強度評価において考慮。

27

5. 構成部材の性能の確認(4/6)

(2) ジルカロイー4(冷間加工応力除去焼鈍材)[2/2]

【耐腐食性】

- ①冷却水による腐食の影響については、酸化腐食による被覆管減肉量の評価結果によると、機械的性質に影響を及ぼさない範囲。
- ②水素吸収による影響については、実験データより燃料集合体の最高燃焼度である45000MWd/tにおいても、機械的性質に影響を及ぼさない程度。

【その他の性能】

- ①耐PCI性は、MOXペレットのクリープ速度が二酸化ウランペレットに比べ大きく、二酸化ウラン燃料棒と同等以上。
- ②耐摩耗性は、二酸化ウラン燃料集合体と同じ。

28

5. 構成部材の性能の確認(5/6)

(3) ジルカロイ-4 (冷間加工再結晶焼鈍材)

被覆管端栓、制御棒案内シンブル、炉内計装用案内シンブル等に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

【耐熱性】

炉心内での使用温度が溶融点及び相変態温度よりも十分低い。

【耐放射線性】

高速中性子照射量が少し増加するが、この増加を考慮しても十分な強度と延性を有する。

【耐腐食性】

- ①酸化腐食については、実機での腐食データにより、予測される酸化膜厚さは機械的健全性の観点での目安の厚さを下回っている。
- ②水素吸収については、実機でのデータにより、予測される水素吸収量は機械的強度に影響のない程度。

29

5. 構成部材の性能の確認(6/6)

(4) ステンレス鋼、耐食耐熱ニッケル合金、耐食耐熱ニッケル基合金 (インコネル718)

上部プレナムコイルばね、上部ノズル、下部ノズル、下部プレナムコイルばね、支持格子等に使用。二酸化ウラン燃料集合体と同じ材質。

【耐熱性】

炉心内での使用温度は溶融点に比べて十分に低い。

【耐放射線性】

高速中性子照射量が少し増加するが、この増加を考慮しても、十分な強度と延性を有する。

【耐腐食性】

高温水中ですぐれた耐食性を有する。腐食減量は機械的性質に影響を及ぼさない程度。

30

6. 強度評価の確認(1/5)

(1)燃料棒の強度評価

・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度

項目	基準	評価結果	設計基準値	設計比
燃料温度	燃料中心温度は燃料材の溶融点未満であること。	約2220℃	<2510℃	—
燃料棒内圧	通常運転時において、燃焼によるFPガスの放出等による燃料棒内圧が、設計基準値以下であること。	16.1MPa [abs]	≤19.0MPa [abs]	0.85
被覆管応力	被覆材の耐力以下であること。	273N/mm ²	≤310N/mm ²	0.89
被覆管ひずみ	円周方向の引張りずみの変化量は各過渡変化に対して1%以下であること。	0.44%	≤1%	0.44
被覆管疲労	被覆管の累積疲労サイクル数が、設計疲労寿命を超えないこと。	0.229	≤1	0.23 31

6. 強度評価の確認(2/5)

(2)燃料集合体の強度評価

①輸送時及び取扱い時における軸方向4G荷重での強度

構成要素	設計比
上部ノズル	0.53※
下部ノズル	0.62※
支持格子 - 制御棒案内シンプル結合部	0.45※
制御棒案内シンプル	0.94※

※ 高温状態における評価結果

6. 強度評価の確認(3/5)

(2)燃料集合体の強度評価

②通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における強度

構成要素	設計比
上部ノズル	0.30※
下部ノズル	0.15※
制御棒案内シンブル(ダッシュポット部)	0.48※

※ 制御棒落下時の評価結果

33

6. 強度評価の確認(4/5)

(2)燃料集合体の強度評価

③通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時の上部ノズル 押えばね力評価

状態	設計比
高温全出力時	0.49
低温起動時	0.60
ポンプオーバースピード時(高温)	(0.67)※

※ ポンプオーバースピード時に燃料集合体が浮き上がるが、上部ノズル押えばねは塑性変形しない。()内の値は、弾性限界ばね力に対する浮き上がり時のばね力の比。

34

6. 強度評価の確認(5/5)

(2)燃料集合体の強度評価

④地震時の強度評価

構成部品	評価用地震動		設計比
被覆管	S1		0.89※1
	S2		0.28※2
制御棒案内シンプル	S1	一次一般膜応力	0.10(0.12)※3
		一次一般膜応力 + 一次曲げ応力	0.34(0.33)※3
	S2	一次一般膜応力	0.07(0.09)※3
		一次一般膜応力 + 一次曲げ応力	0.36(0.34)※3

※1 異常な過渡変化時の応力に地震動による応力を加えた評価結果

※2 通常運転時の応力に地震動による応力を加えた評価結果

※3 ()内はダッシュポット部応力

35

7. 詳細設計の確認結果

輸入燃料体検査申請書にあるMOX燃料の詳細設計仕様について確認した結果、以下のとおりであり、技術基準に照らして特段問題はないと考える。

- 設計仕様を確認したところ、ペレット種類・組成以外は、実績があるウラン燃料のものと寸法・材質等ほぼ同じである。
- MOX特有な部分については、その特性が設計上考慮されている。
- 設計仕様に関する強度評価の結果、基準値を満足している。

Ⅱ.品質保証の計画について

37

1. 品質保証に関する事業者への主な要求事項

- ①MOX燃料加工事業者の評価を行うこと。(特に、従業員教育、データセキュリティ管理等不正発生の未然防止対策等)
- ②異常事態発生時の連絡方法及び体制について定めること
- ③加工の工程毎に、MOX燃料加工工場において適切な検査を実施すること。
- ④製造期間を通じてMOX燃料加工工場に社員を派遣し、製造開始後のMOX燃料加工事業者の製造状況及び品質保証活動を確認すること。
- ⑤規制当局が必要に応じ、元請け企業、MOX燃料加工事業者
に立入り、調査を行うことができる旨、元請け企業及びMOX
加工事業者が定めていることを確認すること。
- ⑥海外工場における我が国向けMOX燃料体製造の実績が蓄積されるまでの当面の間、海外MOX燃料工場の製造時の品質保証活動の確認等を実施する場合、第三者機関を活用すること。

38

2. 品質保証計画に関する申請書記載(1/5)

要求事項①: MOX燃料加工事業者の評価を行うこと。(特に、従業員教育、データセキュリティ管理等不正発生の未然防止対策等)

申請書の記載

3. 2. 1(2)メロックス社の評価

当社は、メロックス社がMOX燃料製造メーカーとして当社の要求事項を満たすMOX燃料集合体の製造を行う能力を有することを、MOX燃料集合体製造実績、過去に実施した当社向けMOX燃料集合体の製造実績、品質保証システム監査(2008年2月18日から21日にかけて実施)および定期監査(2008年10月20日から23日にかけて実施)の結果に基づき、以下の通り評価した。

b.メロックス社の品質保証活動

(a)、(b) (略)

(c) 従業員教育

メロックス社では、毎年作成する教育・訓練計画に基づき、従業員に対して安全文化、品質保証およびデータセキュリティ管理等に関する啓蒙教育を実施しており、実施状況は各部署の長により管理されている。

(d) データのセキュリティ管理

メロックス社では、製造工程の管理および品質データの保存を目的として、コンピュータによる工程管理システムを導入しており、このコンピュータはセキュリティ確保のために入域が制限された部屋に設置されている。また、工程管理システムへのアクセスは、パスワード管理により制限されている。

39

2. 品質保証計画に関する申請書記載(2/5)

要求事項②: 異常事態発生時の連絡方法及び体制について定めること

申請書の記載

3. 2. 2 異常事態発生時の連絡について

メロックス社は、当社MOX燃料集合体の品質保証に係る不適合(通常の不適合を超える異常な事態を含む)が発生した場合には、定められた方法および体制に従って原燃工へ連絡することとしている。

また、原燃工は、品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態の発生について連絡を受けた場合には、定められた方法および体制に従って当社へ連絡することとしている。

さらに、当社は、品質保証に係る通常の不適合を超える異常な事態の発生について連絡を受けた場合に規制当局へ連絡する方法および体制について定めている。

2. 品質保証計画に関する申請書記載(3/5)

要求事項③:加工の工程毎に、MOX燃料加工工場において適切な検査を実施すること。

申請書の記載

3. 2. 3 検査・試験管理について

当社は、製造期間(メロックス社での当社向けMOX燃料集合体のための二次混合開始から全燃料集合体の組み立て後の検査完了までの期間)を通じて、監査員および検査員の両資格を社内承認された社員を現地工場に駐在させる計画である。駐在員は、MOX燃料集合体の製造の工程ごとに、製造前に定める検査要領に従い、検査(立会検査、記録確認)を実施するとともに、製造時のデータを統計的に処理し、品質が適正に確保されていることを継続的に確認する。

ペレットおよび燃料棒の初期製造時については、抜き取り個数の増加による綿密な立会検査を行い、初期製造品の品質を十分に検証し、安定した品質の製品が製造できることを確認する。燃料集合体については、メロックス社に模擬燃料集合体の組み立てを実施させ、これを評価することで、安定した品質の製品が製造できることを確認する。

～(略)～

41

2. 品質保証計画に関する申請書記載(4/5)

要求事項④:製造期間を通じてMOX燃料加工工場に社員を派遣し、製造開始後のMOX燃料加工事業者の製造状況及び品質保証活動を確認すること。

申請書の記載

3. 2. 3 検査・試験管理について

当社は製造期間(メロックス社での当社向けMOX燃料集合体のための二次混合開始から全燃料集合体の組み立て後の検査完了までの期間)を通じて、監査員および検査員の両資格を社内承認された社員を現地工場に駐在させる計画である。駐在員は、MOX燃料集合体の製造の工程ごとに、製造前に定める検査要領に従い、検査(立会検査、記録確認)を実施するとともに、製造時のデータを統計的に処理し、品質が適正に確保されていることを継続的に確認する。

～(略)～

3. 2. 4 製造状況等の確認について

当社の駐在員は、前項に記載した検査を実施するほか、MOX燃料集合体の製造状況および品質保証活動状況を確認するために、工程監査および巡視を行う。

～(略)～

42

2. 品質保証計画に関する申請書記載(5/5)

要求事項⑤: 規制当局が必要に応じ、元請け企業、MOX燃料加工事業者に立入り、調査を行うことができる旨、元請け企業及びMOX加工事業者が定めていることを確認すること

申請書の記載

3. 2. 4 製造状況等の確認について

～(略)～

規制当局の立ち入りについては、必要に応じて規制当局が原燃工およびメロックス社に立ち入り、当社の品質保証活動の妥当性について調査を行うことができることを契約書に定めている。

43

2. 品質保証計画に関する申請書記載(5/5)

要求事項⑥: 海外工場における我が国向けMOX燃料体製造の実績が蓄積されるまでの当面の間、電気事業者は、海外MOX燃料工場の製造時の品質保証活動の確認等を実施する場合、第三者機関を活用すること。

申請書の記載

3. 2. 5 第三者機関の活用について

当社は、メロックス社で工程監査及び立会検査を実施するにあたり、当社の審査能力を補完し、監査および検査の信頼性を高めるために、第三者機関としてISOの認証で豊富な実績を有する仏国のビューローベリタス社の確認を受けることとしている。

～(略)～

4. まとめ

～(略)～

また、当社の製造期間中における品質保証活動については、第三者機関のビューローベリタス社の確認を受けることとしている。

44

3. 品質保証計画に関する評価

- 関西電力(株)から申請された高浜3, 4号機のMOX燃料体に関する品質保証計画の内容は、国が通達等で要求している事項を満足しているものと判断する
- 今後、MOX燃料体が製造された際には、本邦に輸送される1月前に事業者から試験の結果や品質保証に関する補正申請を受け、MOX燃料体が品質保証計画のもと適切に製造されていることを記録等により確認していく