

高浜発電所第3、4号機用MOX燃料に係る
輸入燃料体検査申請(第2回製造分)について

平成22年2月13日
関西電力株式会社

目次

○関西電力のプルサーマル計画の経緯	.....	1
○輸入燃料体検査申請書の概要	.....	2
○第2回製造分の輸入燃料体検査申請について	.....	3
○品質保証の計画(添付書類六)に関する説明	.....	4 ~ 8
┌		
・調達プロセスの変更	.....	4
・MOX燃料製造時の品質保証活動の計画	.....	5
・ペレット自主検査結果に係る対応	.....	6
・MOX燃料調達に関する定期監査結果	.....	7 8
└		

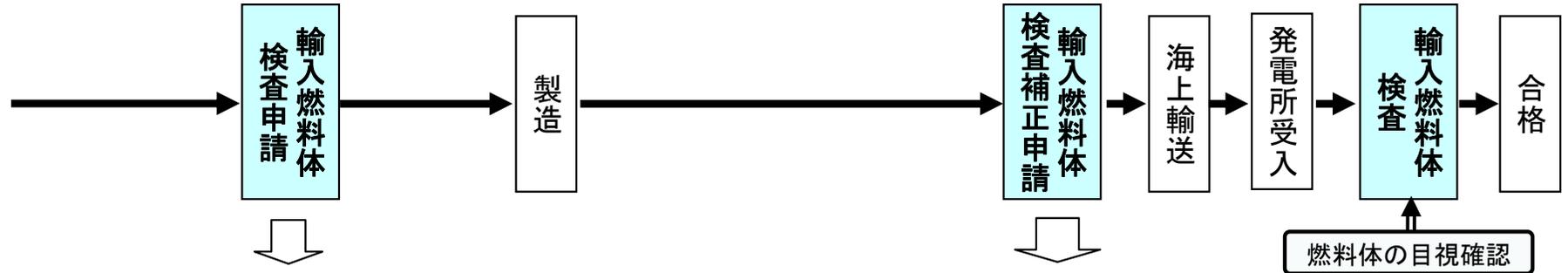
関西電力のプルサーマル計画の経緯

1998年 2月23日	福井県・高浜町にプルサーマル計画の事前了解願いを提出
12月16日	高浜発電所の原子炉設置変更許可
1999年 6月17日	福井県・高浜町、プルサーマル計画事前了解
9月13日	BNFLによるMOX燃料製造データ問題が発覚(高浜3号機用燃料)
12月16日	受け入れ済みの高浜4号機用MOX燃料にもデータ問題が発覚。使用中止を決定。その後、2002年9月にBNFLへ返送済。

2004年 3月31日	当社、原子燃料工業(株)及びコモックス社(現メロックス社)間で基本契約締結
8月9日	美浜3号機事故
2008年 1月30日	プルサーマル計画の準備作業の再開表明
2月	品質保証システム監査の実施(原燃工:12日、メロックス工場:18日~21日)
3月17日	品質保証システム監査結果について、報告書を福井県、高浜町へ提出
3月31日	福井県、高浜町より、品質保証システム監査結果について確認結果を受領し、MOX燃料加工契約(16体分)を原子燃料工業(株)と締結
10月	定期監査の実施(原燃工:16日、メロックス工場:20~23日)
11月10日	経済産業省に対して、輸入燃料体検査申請を実施し、福井県、高浜町へ輸入燃料体検査申請書の概要、および定期監査結果を報告
11月21日	MOX燃料加工契約(32体分)を原子燃料工業(株)と締結
2009年 1月16日	福井県・高浜町より、輸入燃料体検査申請、定期監査結果の確認結果を受領
1月30日	仏国メロックス工場において16体のMOX燃料製造を開始
8月19日	MOX燃料製造体数を16体から12体に変更することを決定し、福井県、高浜町へ報告
8月28日	メロックス工場におけるMOX燃料全12体の製造を終了
9月 1日	経済産業省に対して、輸入燃料体検査申請を16体から12体に変更連絡
10月 9日	経済産業省に対して、輸入燃料体検査補正申請を実施し、福井県、高浜町へ輸入燃料体検査補正申請書の概要を報告
12月24日	福井県・高浜町より、輸入燃料体検査補正申請の確認結果を受領
2010年1月26日	経済産業省に対して、輸入燃料体検査申請を実施し、福井県、高浜町へ輸入燃料体検査申請書の概要を報告

輸入燃料体検査申請書の概要

OMOX燃料の輸入燃料体検査申請書の構成



輸入燃料体検査申請(計画の申請)

【申請時期】

ペレットの成形加工に着手する1月前まで

【申請書の構成】

○本文

○添付書類

- 一：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
- 二：燃料体の強度計算書
- 三：燃料体の構造図

- 四：加工のフローシート
- 五：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

六：品質保証の計画に関する説明書

〔概要〕

MOX燃料に関する基本的事項の説明

MOX燃料の技術的事項の説明

MOX燃料の加工プロセスの説明

品質保証の計画の説明

輸入燃料体検査補正申請(実績の申請)

【申請時期】

日本への輸送を開始する1月前まで

【補正申請書の構成】

加工実績を踏まえて、本文、添付書類五、添付書類六で構成

・本文

・添付書類五

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

・添付書類六

品質保証に関する説明書

第2回製造分の輸入燃料体検査申請内容について

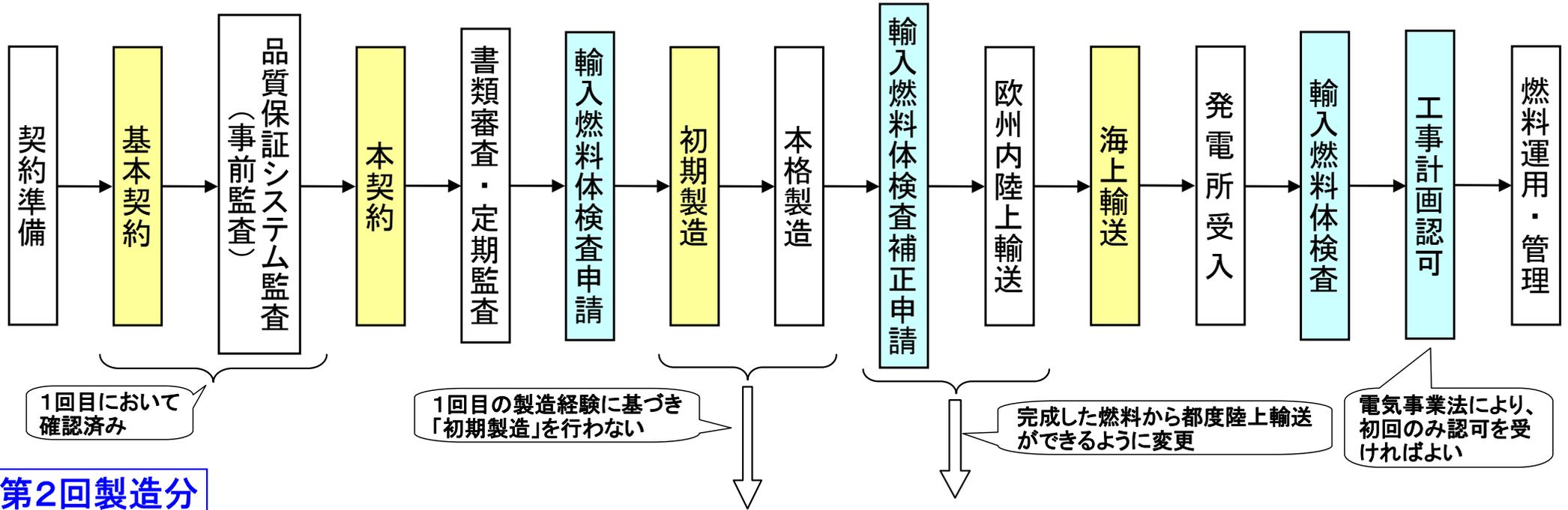
申請書の構成	第1回製造時の申請内容との比較	備考
<p style="text-align: center;">本 文</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料体の個数※ 高浜発電所3号機向け 16体および4体 高浜発電所4号機向け 16体 ・その他の内容については第1回製造時と同様 	<p style="text-align: center;">参考-1</p>
<p>添付書類 一 (燃料体の耐熱性、耐放射線性、耐腐食性その他の性能に関する説明書)</p>	<p style="text-align: center;">第1回製造時と同様</p> <p style="text-align: center;">(燃料の技術的事項は、第1回製造時と同様であり、原子炉設置変更許可に基づき設計したMOX燃料の性能、構造、MOX燃料の特徴を踏まえた強度評価の結果を記載)</p>	<p style="text-align: center;">参考-2 ~参考-6</p>
<p>添付書類 二 [燃料体の強度計算書]</p>		
<p>添付書類 三 [燃料体の構造図]</p>		
<p>添付書類 四 [加工のフローシート]</p>	<p style="text-align: center;">第1回製造時と同様</p> <p style="text-align: center;">(加工工程及び検査の計画は、第1回製造時と同様であり、製品が定められた仕様を満足することを確認するために実施する加工の工程ごとの検査項目及び実施方法を記載)</p>	<p style="text-align: center;">参考-7 参考-8</p>
<p>添付書類 五 (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)</p>		
<p>添付書類 六 [品質保証の計画に関する説明書]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・製造体制：元請会社…原子燃料工業 製造メーカー…メロックス社 } 第1回製造時と同様 ・調達プロセス ⇒ [4] ・製造時の品質保証活動の計画 ⇒ [5] ・ペレット自主検査に関する改善状況 ⇒ [6] ・定期監査の結果 ⇒ [7][8] 	<p style="text-align: center;">参考-9</p>

※:第1回製造分(16体から平成21年8月19日に12体に変更)のうち別途製造することとしていた4体を含む。

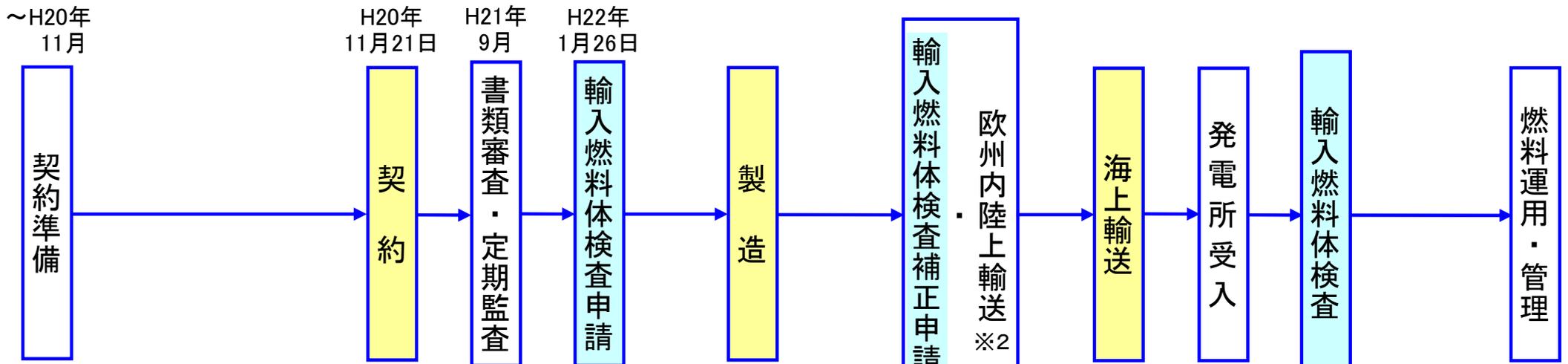
品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(1/5)

○調達プロセスの変更

第1回製造分



第2回製造分



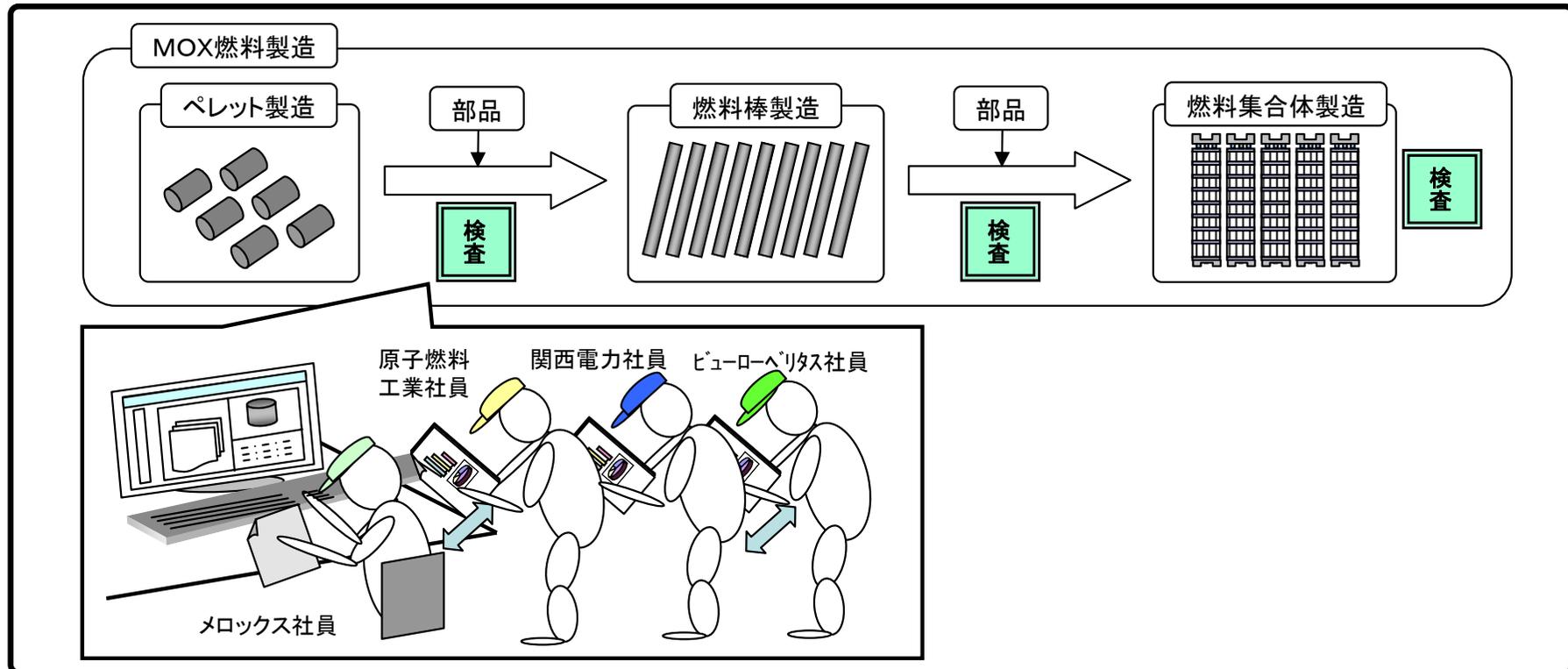
- ... 原子力安全・保安院による法的な規制事項
- ... それまでの業務プロセスの実施結果に問題がないことを、社長が確認した上で実施する業務プロセス

※1 : 全ての燃料が完成した後、輸入燃料体検査補正申請を行う
 ※2 : 陸上輸送は補正申請とは関係なく、完成した燃料から輸送を行うことがある

品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(2/5)

OMOX燃料製造時の品質保証活動の計画

- ①異常事態発生時の連絡
 - ・異常事態発生時の連絡方法および体制を定め、メロックス社、原子燃料工業および当社は確実に連絡を実施する。
- ②検査・試験管理
 - ・製造期間を通じて、当社社員を現地に駐在させ、製造の工程ごとに、検査要領に従い、検査を実施する。
(第1回製造における本格製造時の検査と同様)
- ③製造状況等の確認
 - ・製造状況、品質保証活動状況を確認するため、製造初期段階の工程監査、および巡視を実施する。
 - ・必要に応じて、規制当局が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。
- ④第三者機関の活用
 - ・工程監査、検査を実施するにあたり、当社の審査能力を補完し、信頼性を高めるために、第三者機関として仏国ビューローベリタス社の確認を受ける。



○ペレット自主検査結果に係る対応

【1回目のMOX燃料製造時の事象の概要】

- ・平成21年6月、原子燃料工業とメロックス社がペレットの性状を確認するための自主検査の一つを実施したところ、一部のペレットで目標値の範囲内に収まらない測定値を示すものがあった。
- ・当社は、原燃工、メロックス社とともに、検査の結果を慎重に確認した結果、当該ペレットを採用しないこととし、1回目の製造期間におけるMOX燃料の製造体数を当初計画の16体から12体に変更した。

【改善状況の確認】

- ・平成21年9月に当社がメロックス社に対して実施した定期監査において、メロックス社が不適合管理のしくみに基づき、原因究明および改善に向けた品質保証活動を適切に実施していることを確認している。また、その後の調査を通じて、メロックスにおいて、ペレットの性状についてより高い品質を確保できるよう、作業の一部を見直したことを確認した。

自主検査とは

○燃料の安全性を担保するための輸入燃料体検査項目以外に、より高い品質の燃料を確保するため、製造安定性確認等の観点から事業者が自主的に実施している検査。

輸入燃料体検査

- ・ペレット直径
- ・不純物
- ・プルトニウム含有率
- ・プルトニウム均一度等

自主検査

- ・ペレット高さ
- ・全不純物総量
- ・蒸発性不純物等

当社、原燃工、メロックス社が実施している検査

品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(4/5)

OMOX燃料調達に関する定期監査結果

【監査の位置づけ】

第1回のMOX燃料調達における定期監査および製造時に確認した、原子燃料工業およびメロックス社のMOX燃料製造に係る品質保証システムが、継続的に改善、維持されており、この品質保証システムに基づく品質保証活動が適切に実施され、当社の要求事項を満たすものであることを確認するもの。

【実施体制】

	原子燃料工業 (元請会社)	メロックス社 (海外MOX燃料加工メーカー)
実施日	平成21年9月29日	平成21年9月15日～16日
監査体制	・原子燃料部長: 監査に関する管理責任者 ・監査チーム: チームリーダー、監査員2名 ・ビューローベリタス社	・同左 ・同左 ・仏国ビューローベリタス社
確認方法	書類確認、記録確認、現場確認(メロックス社のみ)、インタビュー	

品質保証の計画(添付書類六)に関する説明(5/5)

【定期監査における確認内容】

項目	原子燃料工業(株) 熊取事業所	メロックス社 メロックス工場
①品質保証に関する要求	<ul style="list-style-type: none"> ・当社が要求するISO9001等の要求事項を満足する品質マネジメントシステムが構築・維持されていることを確認 ・ペレット自主検査結果の一部の目標値逸脱の際は、燃料メーカーとしての知見を踏まえ技術的検討を行っており、適切な管理を実施していることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・同左 ・ペレット自主検査結果の一部の目標値逸脱に関しては、メロックスの品質保証システムに基づく管理が行われ、原因究明及び対策等の再発防止に向けた品質保証活動が適切に実施されていることを確認
②製造管理及び製造の業務プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・管理文書に従い、メロックス社を管理・指導するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子燃料工業の要求事項を満たすMOX燃料を製造するための品質保証活動が適切に実施されていることを確認
③BNFL問題再発防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ・メロックス社に対し組織的に指導・監督できる品質保証体制、綿密な立会検査、長期滞在の措置、異常時の連絡体制整備等のBNFL問題再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備の自動化等の不正防止策を図っていること、データセキュリティが厳格に確保されていること、異常時の連絡体制整備等のBNFL再発防止対策を実施するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを確認
④輸入燃料体検査制度への適合	<ul style="list-style-type: none"> ・規制当局による品質保証活動の受入れ、第三者機関の活用等の輸入燃料体検査制度へ適合するための事項がメロックス社へ要求されていることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・規制当局による品質保証活動調査の受入れ、第三者機関の活用等の輸入燃料体検査制度へ適合するための仕組みが整備され、これに基づく品質保証活動が適切に実施されていることを確認

【監査の結果】

不適合に該当するものはなく、原子燃料工業およびメロックス社において、当社向けMOX燃料製造に係る品質保証活動が適切に実施されていることを確認した。

參考資料

輸入燃料体検査申請に関する基本的事項(本文)

参考-1

項目	MOX燃料		(参考)ウラン燃料
	設置変更許可申請書	輸入燃料体検査申請書	
燃料の種類	ウラン・プルトニウム混合酸化物		二酸化ウラン
燃焼率	最高燃焼度 45,000MWd/t	燃料体最高 45,000MWd/t	燃料体最高 48,000MWd/t
燃料材、燃料被覆材、その他の部品の種類および組成	燃料ペレット ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 被覆管 シルカロイ-4 支持格子 ニッケル・クロム・鉄合金 上部・下部ノズル -	燃料材 ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 燃料被覆材 Sn-Fe-Cr系ジルコニウム合金(ジルカロイ-4) 支持格子 耐食耐熱ニッケル基合金 上部・下部ノズル ステンレス鋼鋳鋼	二酸化ウランペレット 同左 同左 同左
燃料体の構造	集合体全長 約4.1m 集合体断面寸法 約214mm×約214mm 燃料棒全長 約3.9m 集合体当たりの燃料棒数 264	燃料体の寸法 全長 4,035.5mm※ 断面寸法(最大) 214.3mm×214.3mm 燃料棒の寸法 全長 3,852.0mm 燃料棒の数量 燃料体あたり264本	同左 同左 同左 同左
燃料体の個数	-	高浜発電所3号機向け 16体、4体 高浜発電所4号機向け 16体	-
製造者、所在地	-	メロックス社 フランス国シュスラン	-
使用発電所の名称、原子炉の型式	-	発電所 高浜発電所 型式 濃縮ウラン燃料 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料、軽水減速、軽水冷却、加圧水型	-
検査を希望する年月日	-	平成22年1月26日 ～平成23年12月31日(3号機 16体) ～平成24年12月31日(4号機 16体) ～平成25年12月31日(3号機 4体)	-

※上部ノズル突起部除く

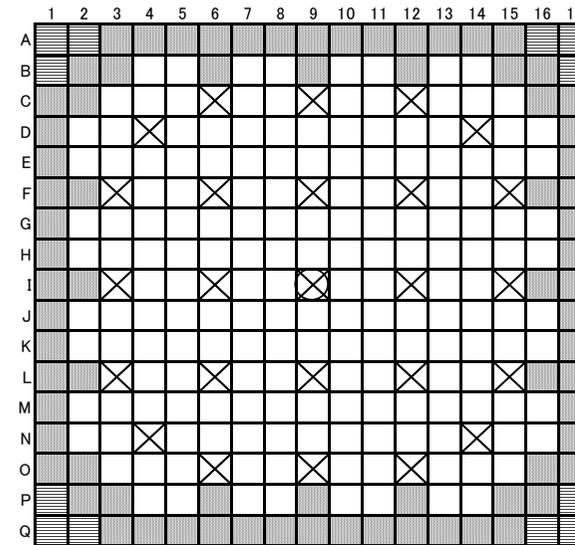
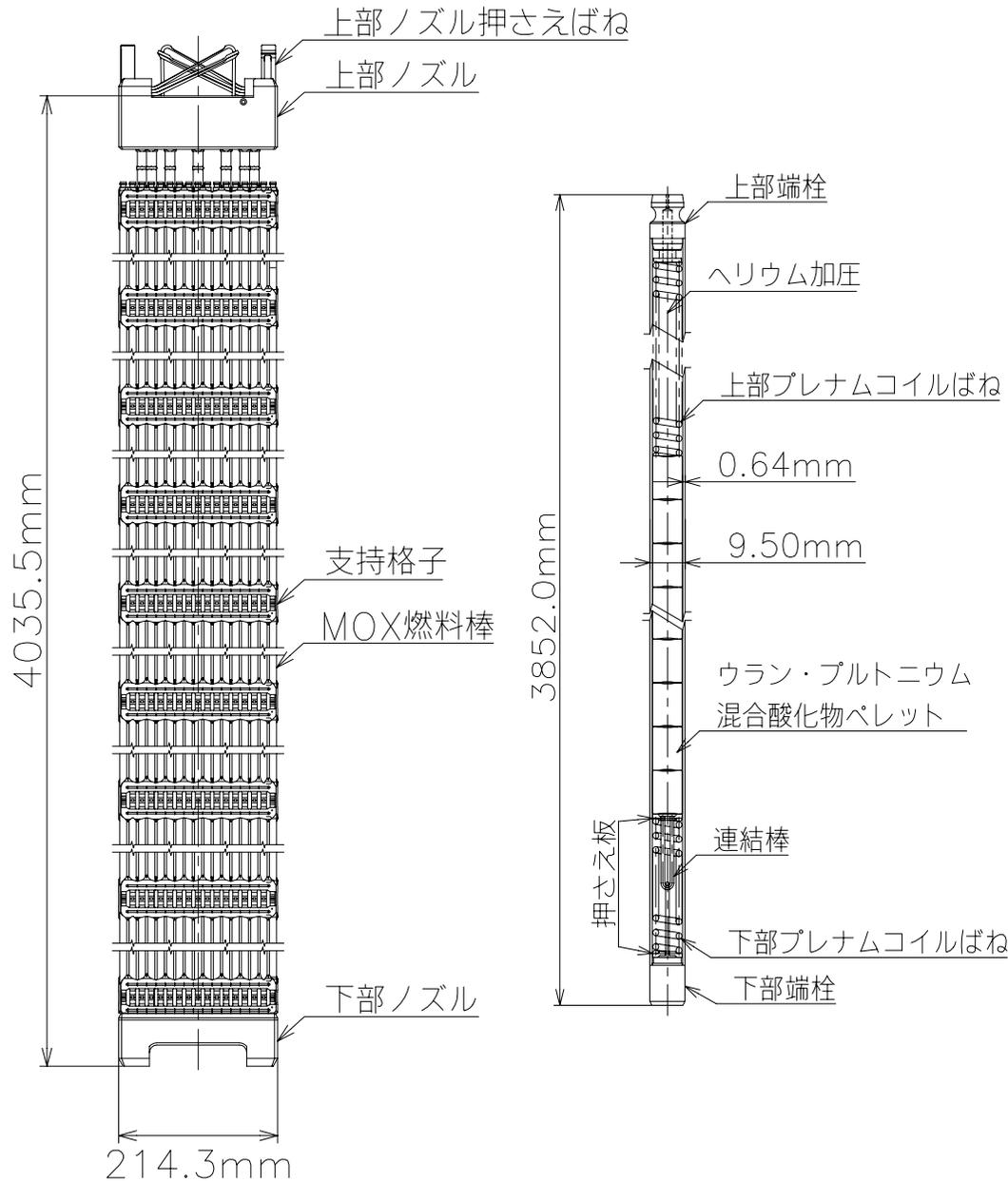
設置変更許可申請書を踏まえて輸入燃料体検査申請書で詳細仕様を決定

- ・MOX燃料の構造・材料はウラン燃料とほぼ同一
- ・違いは、ペレットがウラン・プルトニウム混合酸化物



ウラン・プルトニウム混合酸化物であることを踏まえて技術的事項(強度計算等)を評価

MOX燃料体および燃料棒の構造



□ 高Pu富化度棒(約10.6wt%Pu-t^{*}1)

▨ 中Pu富化度棒(約6.2wt%Pu-t^{*}1)

▧ 低Pu富化度棒(約4.5wt%Pu-t^{*}1)

⊗ 制御棒案内シムブル

⊗ 炉内計装用案内シムブル

※1 核分裂性Pu割合68%、母材用U-235濃度0.2wt%の場合

※2 MOX燃料集合体の周辺部の出力が高くないようMOX燃料集合体のプルトニウム富化度分布を設定

OMOX燃料の特徴に対する燃料設計上の対応

特 徴

影 響

燃料設計上の対応



Puの含有量が大きくなると、ペレットの融点が低下する。

融点の低下を考慮する必要がある。

融点が低下することを考慮し、燃料中心温度の設計基準を設定。



Puの含有量が大きくなると、ペレットの熱伝導率が低下する。

熱伝導率の低下を考慮してペレット温度を評価する必要がある。

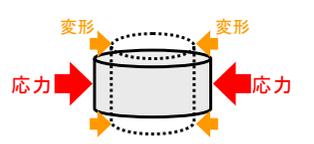
熱伝導率の低下、FPガス放出の上昇を考慮し、燃料棒健全性評価を実施。



Puスポット※1により核分裂生成ガス(以下、FPガス)放出が若干多くなる。

燃料棒内圧が上昇する。

保守的に燃料健全性評価では考慮しない。

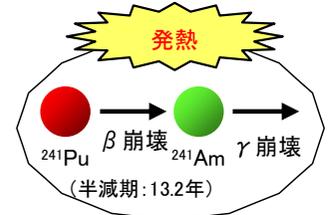


Puの含有量が大きくなるとペレットのクリープ速度※2が増加する。

機械特性上有利に働く。

・高温になることによる強度低下を考慮し、輸送時の荷重を4Gに制限
・高温状態での強度評価を実施

応力による変形速度がウランペレットに比べて大

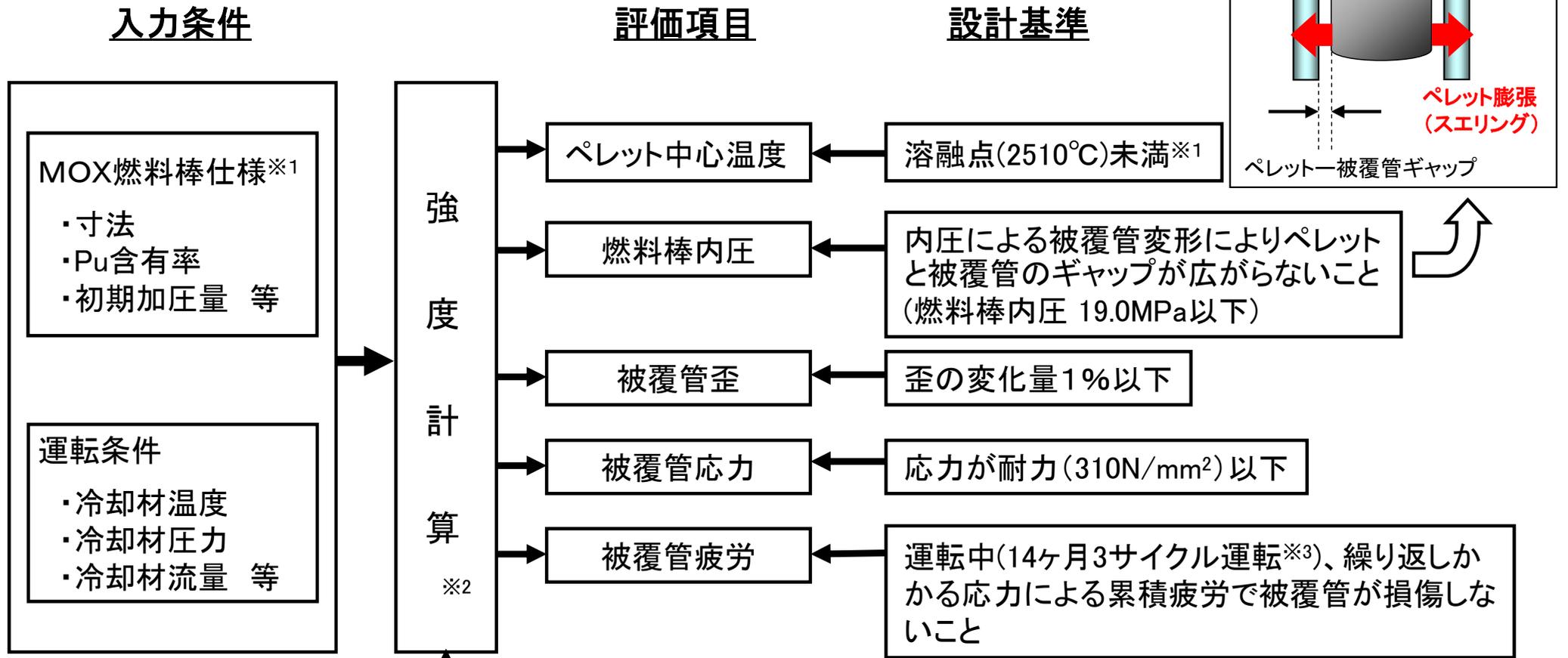


Puの崩壊により発熱量が多くなる。

輸送時にMOX燃料が高温になる。

※1 Puスポット: MOXペレットの中でPu濃度が比較的高い部分のことをいう。
 ※2 クリープ速度: 応力によりペレットが変形する速度のことをいう。

○燃料棒の強度計算方法



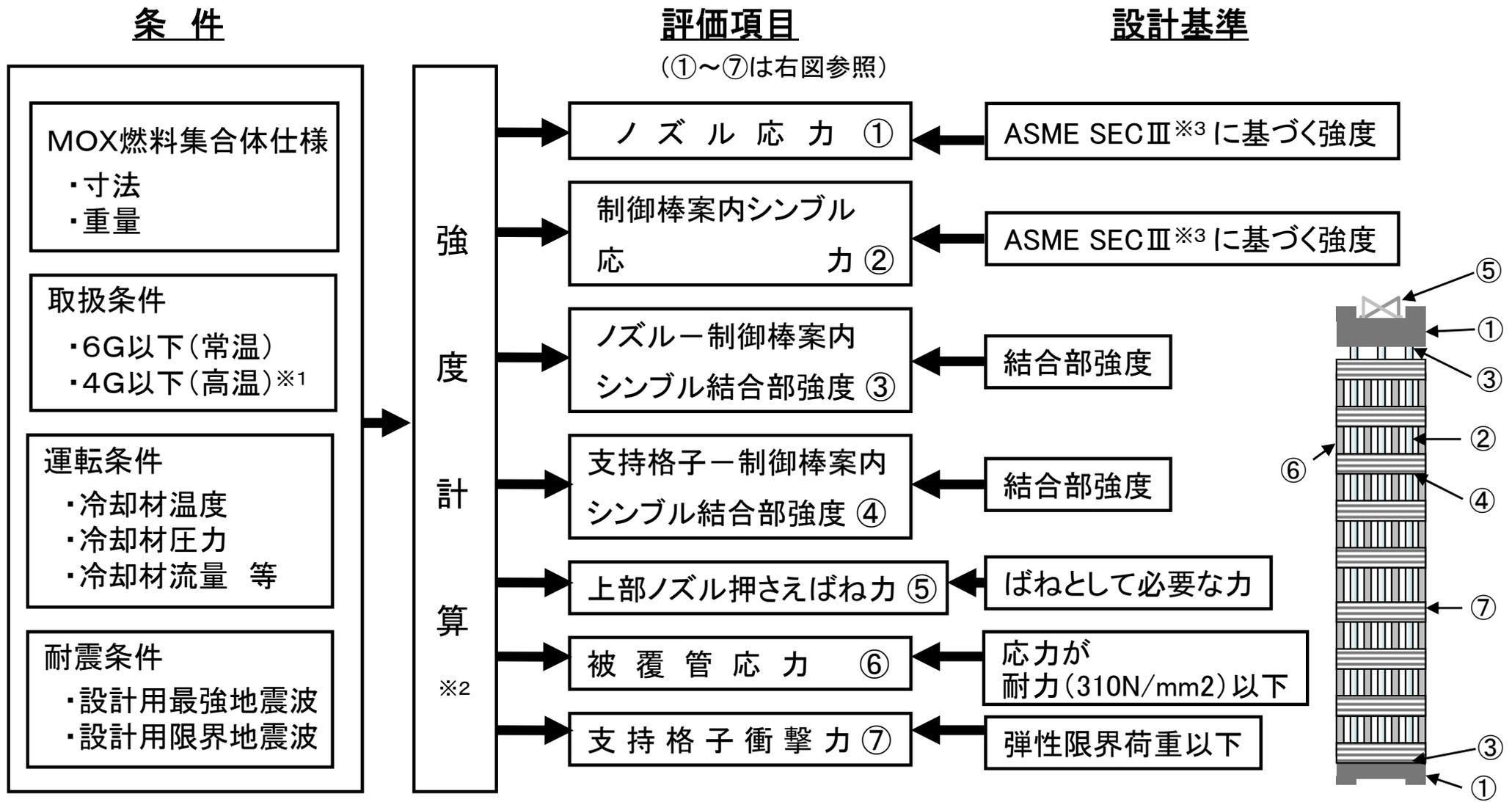
※1 プルトニウムの特性を反映

※2 原子力安全委員会原子炉安全基準専門部会報告書にて妥当性が確認された燃料棒設計コードを使用

物性※1
 ・熱伝導率、熱膨張率、ヤング率
 照射特性※1
 ・FPガス放出率、He放出率、焼きしまり、スエリング、ペレット出力分布 等

※3 解析条件として設定した運転期間

○燃料集合体の強度計算方法



※1 プルトニウムの特性を反映

※2 ウラン燃料の燃料体設計認可申請書での評価で使用するなど十分実績のある計算コードを使用

※3 米国機械学会(American Society of Mechanical Engineers)が発行している米国工業規格(ASME Code)のうち、原子炉に関連する部材や支持構造に関する設計基準が記されている第3章(Sec. III)のこと。

燃料棒の強度計算結果

評価項目	設計基準	評価結果	設計基準値	設計比 ^{※1}
ペレット中心温度	MOXペレット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被覆管の外向きのクリープ変形によりペレットと被覆管のギャップが増加する圧力を超えないこと	16.1MPa [abs]	≤19.0MPa [abs]	0.85
被覆管歪	円周方向引張歪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
被覆管応力	ジルカロイ-4の耐力以下であること	273N/mm ²	≤310N/mm ²	0.89
被覆管疲労	累積疲労サイクルは、燃料が損傷しない設計疲労寿命以下であること	0.229	≤1	0.23

※1 設計比とは、評価値÷設計基準値であり、1未満であれば基準を満足する

燃料集合体の強度計算結果

燃料取扱時、燃料輸送時、通常運転時および運転時の異常な過渡変化時、および地震時について評価する。

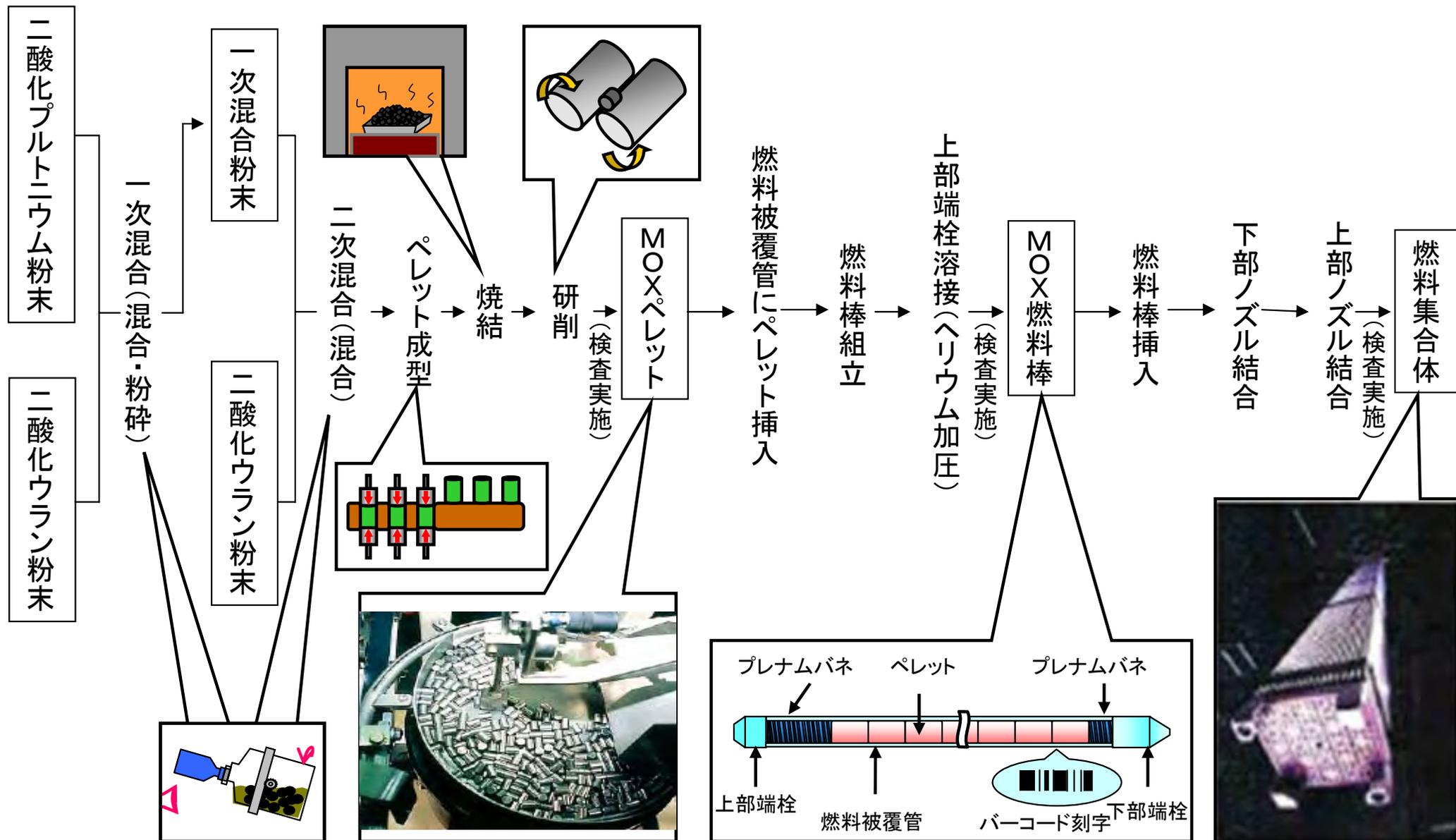
【燃料取扱時および燃料輸送時の評価結果】

構成部分	評価内容	設計比 ^{※1}	
		燃料取扱時	燃料輸送時
上部ノズル	発生する応力が許容値以下であること	0.80	0.53
下部ノズル		0.80	0.62
制御棒案内シングル		0.86	0.94
支持格子-制御棒案内シングル結合部		0.68	0.45

※1 設計比とは、評価値÷設計基準値であり、1未満であれば基準を満足する

○メロックス社におけるMOX燃料製造の流れ

(注: 燃料被覆管、上部ノズル、下部ノズル等の部品については原子燃料工業より供給)



	MOXペレット	MOX燃料棒	燃料集合体
検査内容	<p>MOXペレット</p> <p>検査内容</p>	<p>MOX燃料棒</p> <p>検査内容</p>	<p>燃料集合体</p> <p>検査内容</p>
	<p>検査／記録確認項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・直径 ・密度 ・外観(割れ、きず等) ・Pu均一度 ・化学成分(Pu含有率、不純物等) <p>等</p>	<p>検査／記録確認項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全長 ・溶接部外径 ・わん曲 ・外観(割れ、きず等) ・表面汚染 ・溶接部健全性 <p>等</p>	<p>検査／記録確認項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料棒間隔 ・全長 ・燃料棒とノズルの間隔 ・外観(割れ、きず等) ・燃料棒組込位置 <p>等</p>

※ メロックス社が検査したものの中から抜き取りで検査を行う

<MOX燃料の製造体制>

<発注先の評価>

【発注者】

関西電力

JEAC4111に
基づきMOX
燃料調達を
実施

【元請会社】

原子燃料工業

・燃料被覆管等の
部品の製造、供給
・メロックス社に対
する製造管理

【MOX燃料
製造メーカー】

メロックス社

・MOX燃料の製造

■原子燃料工業

○技術能力の評価

- ・ウラン燃料の製造実績(平成21年8月末 8, 217体)
- ・当社向けMOX燃料の製造実績(平成11年~平成13年、平成21年)

○品質保証活動の評価

- ・システム監査、定期監査の結果
- ・ISO9001:2000の認証取得



MOX燃料の製造を適切に管理する能力、部品を供給する能力を有している。

■メロックス社

○技術能力の評価

- ・MOX燃料の製造実績(平成20年末 2, 788体)
- ・当社向けMOX燃料の製造実績(平成11年~平成13年、平成21年)

○品質保証活動の評価

- ・システム監査、定期監査の結果
- ・ISO9001:2008の認証取得



当社の要求事項を満たすMOX燃料の製造を行う能力を有している。