

高浜発電所第3、4号機用
ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料に係る
輸入燃料体検査申請書の概要について

平成22年1月26日

関西電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 本文	1
3. 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」	2
4. 添付書類二 「燃料体（燃料要素の集合体である燃料体にあつては、燃料要素）の 強度計算書」	2
5. 添付書類三 「燃料体の構造図」	6
6. 添付書類四 「加工のフローシート」	6
7. 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」	8
8. 添付書類六 「品質保証の計画に関する説明書」	9

1. はじめに

当社は、電気事業法第51条第3項に基づき、輸入MOX燃料体について検査を受検するため、平成22年1月26日に経済産業省に輸入燃料体検査申請を行った。

以下に、本輸入燃料体検査申請書の概要を示す。

2. 本文

申請書本文の主な記載事項を表2-1に示す。

表2-1 申請書本文の主な記載事項

燃料の種類	ウラン・プルトニウム混合酸化物
初期濃縮度	約4.1wt%濃縮ウラン燃料相当以下
燃焼率	燃料体最高 45,000Mwd/t
燃料材、燃料被覆材、その他の部品の種類	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
燃料体の構造	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 燃料体当たり 264本
燃料体の個数	高浜発電所第3号機向け 16体および4体 高浜発電所第4号機向け 16体
燃料体の製造者および所在地	メロックス社 フランス国シュスラン
燃料体を使用する発電所の名称、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
検査希望年月日および場所	(高浜発電所第3号機向け 16体) 平成22年1月26日～平成23年12月31日 原子力事業本部および高浜発電所 (高浜発電所第4号機向け 16体) 平成22年1月26日～平成24年12月31日 原子力事業本部および高浜発電所 (高浜発電所第3号機向け 4体) 平成22年1月26日～平成25年12月31日 原子力事業本部および高浜発電所

*以下、「MOXペレット」という。

3. 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」

燃料集合体に使用されるMOXペレットの耐熱性、耐放射線性、耐腐食性について述べる。

(1) MOXペレットの耐熱性

MOXペレット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ペレットに比べて低下するが、原子炉でのMOXペレットの最高温度は、MOXペレットの溶融点より十分低い温度である。

(2) MOXペレットの耐放射線性

MOXペレットのプルトニウムの均一度が低い場合、プルトニウム濃度の高い部分で局部的に燃焼度が高くなるため、核分裂生成ガス放出率が高くなる。

メロックス社で製造されるMOXペレットはプルトニウムの均一度が高いため、核分裂生成ガスの放出率は二酸化ウランペレットと同程度であるが、設計上は保守的に二酸化ウランペレットよりも大きいものとしている。

(3) MOXペレットの耐腐食性

核分裂により生じた余剰酸素による被覆管内面酸化膜厚さは、ウラン燃料と同程度であることが確認されている。

燃料棒内に加圧封入されるヘリウムガスは不活性ガスであり、MOXペレットと反応することはない。

また、MOXペレットとステンレス鋼製の上部プレナムコイルばねおよび下部プレナムコイルばねの押さえ板は接触しているが、国内外の照射実績より、MOXペレットとステンレス鋼は安定に共存することが確認されている。

4. 添付書類二「燃料体（燃料要素の集合体である燃料体にあつては、燃料要素）の強度計算書」

通常運転時および運転時の異常な過渡変化時、輸送時、取扱い時、ならびに地震時における強度計算が適切に行われていることを示す。

(1) MOX燃料棒の強度計算

MOX燃料棒について、通常運転時および運転時の異常な過渡変化時において、以下に示すように設計基準を満足することを確認している。

項目		設計基準	評価結果
①	ペレット中心温度	MOXペレットの溶融点 (2, 510°C) 未満であること。	約 2, 220°C

項目		設計基準	設計比
②	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MOX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。	0.85
③	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
④	被覆管応力	ジルカロイ-4の耐力以下であること。	0.89
⑤	被覆管疲労	累積疲労サイクルは、設計疲労寿命以下となる設計とする。	0.23

※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。

(2) 燃料集合体の強度計算

① 輸送時および取扱時における強度評価

常温状態における燃料輸送時および取扱時に燃料集合体に加わる荷重を6Gと設定し、構成部分がこの荷重に対して十分な強度を有していることを確認している。

構成部分	設計基準	設計比
上部ノズル	ASME Sec IIIに基づいて設定された設計応力強さ	0.80
下部ノズル		0.80
制御棒案内シムル	0.2% 耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方	0.86
支持格子-制御棒案内シムル結合部	結合部の荷重変位曲線の弾性限界	0.68

※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。

MOX新燃料集合体は、輸送中に高温となり強度が低下することから、高温状態の燃料輸送および取扱時の荷重を4Gと制限し、構成部分がこの荷重に対して十分な強度を有していることを確認している。

構成部分	設計基準	設計比
上部ノズル	ASME Sec IIIに基づいて設定された設計応力強さ	0.53
下部ノズル		0.62
制御棒案内シムル	0.2% 耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方	0.94
支持格子-制御棒案内シムル結合部	結合部の荷重変位曲線の弾性限界	0.45

※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。

②通常運転時および運転時の異常な過渡変化時における強度評価

a. 上部および下部ノズル

制御棒落下時の衝撃力が許容値以下であることを確認している。

構成部分	設計基準	設計比
上部ノズル	ASME Sec IIIに基づいて設定された設計応力強さ	0.30
下部ノズル		0.15

※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。

b. 上部ノズル押さえばね

通常運転時に燃料集合体が浮き上がらないこと、および一次冷却材ポンプオーバースピード時に上部ノズル押さえばねの健全性が損なわれないことを確認している。

条 件	設計基準	設計比	評 価
高温全出力時	通常運転時に燃料集合体が浮き上がらないこと	0.49	浮き上がらない。
低温起動時		0.60	浮き上がらない。
一次冷却材ポンプオーバースピード時	上部ノズル押さえばねの健全性が損なわれないこと	—	浮き上がる。ただし、上部ノズル押さえばねは塑性変形しない。

※設計比とは、ばね力に対するばね力として必要な力の比である。

c. 制御棒案内シムブル

通常運転時および制御棒落下時に制御棒案内シムブルに発生する応力が許容値以下であることを確認している。

条 件	設計基準	設計比
通常運転時	0.2%耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方	0.13 (0.14)
制御棒落下時	上記の1.5倍	(0.48)

※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。

() 内は制御棒案内シムブル細径部（以下「ダッシュポット部」という）応力

③地震時における強度評価

a. 設計用最強地震時において、制御棒案内シムブルおよび支持格子に発生する応力が許容値以下であることを確認している。

構成部材	設計基準	設計比	備 考
制御棒案内シムブル	0.2%耐力の2/3あるいは引張強さの1/3のいずれか小さい方の2.25倍	0.34 (0.33)	—
支持格子	支持格子に生じる永久変形が制御棒挿入に支障のない範囲であること	—	最大衝撃力は弾性限界荷重以下

※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。

() 内はダッシュポット部応力

- b. 設計用限界地震時において、制御棒の挿入性が確保されること、および崩壊熱除去可能な形状が維持されることを確認している。

構成部材	設計基準	設計比	備考
被覆管	崩壊熱除去可能な形状が維持されること	0.28	—
制御棒案内シムプル	制御棒の挿入性が確保されること	0.36 (0.34)	—
支持格子	崩壊熱除去可能な形状が維持されること	—	最大衝撃力は弾性限界荷重以下

※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。

() 内はダッシュポット部応力

5. 添付書類三「燃料体の構造図」

MOX燃料の構造図を図5-1に示す。

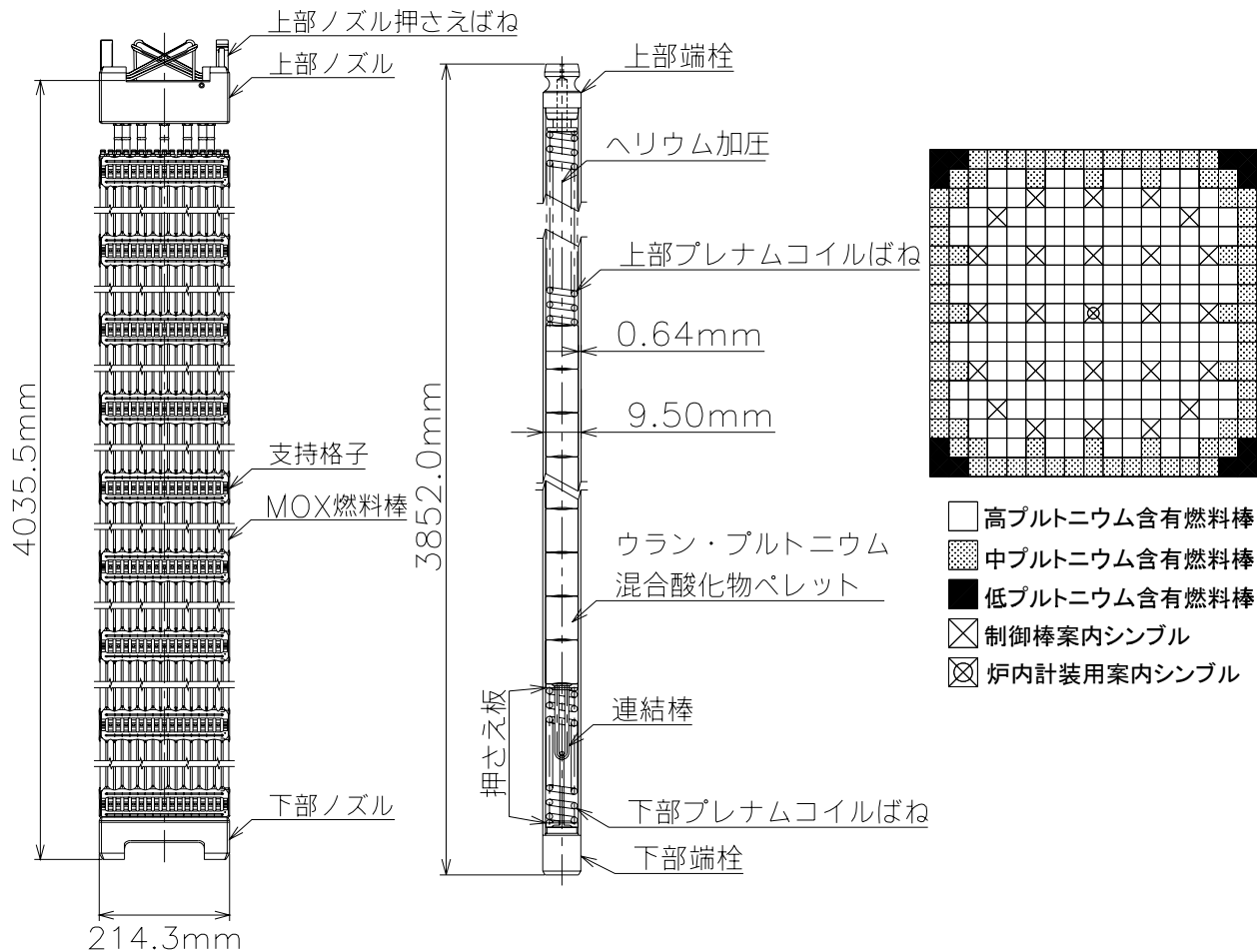


図5-1 MOX燃料の構造図

6. 添付書類四「加工のフローシート」

MOX燃料の加工のフローシートを図6-1に示す。

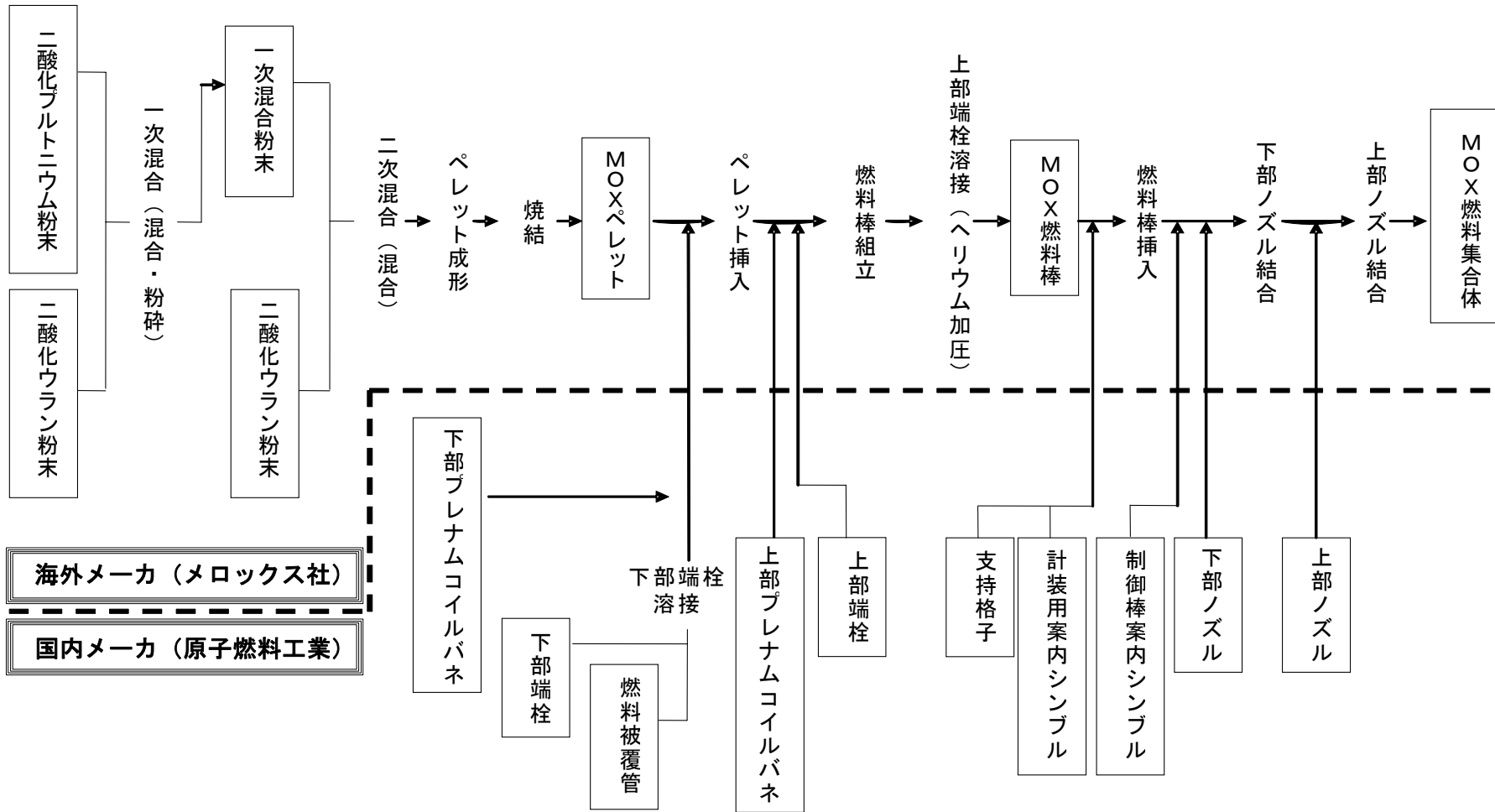


図 6 - 1 MOX燃料の加工のフローシート

7. 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」

当社検査員を原子燃料工業およびメロックス社に派遣し、加工の工程ごとに抜取検査、記録確認を実施することにより、両社の品質管理活動を確認するとともに、製品が定められた仕様を満足していることを確認する。

ペレット、燃料棒、燃料集合体および燃料被覆管等のその他の部品に関する検査の計画として、当社の検査項目および検査実施方法を表7-1に示す。

表7-1 当社検査要領

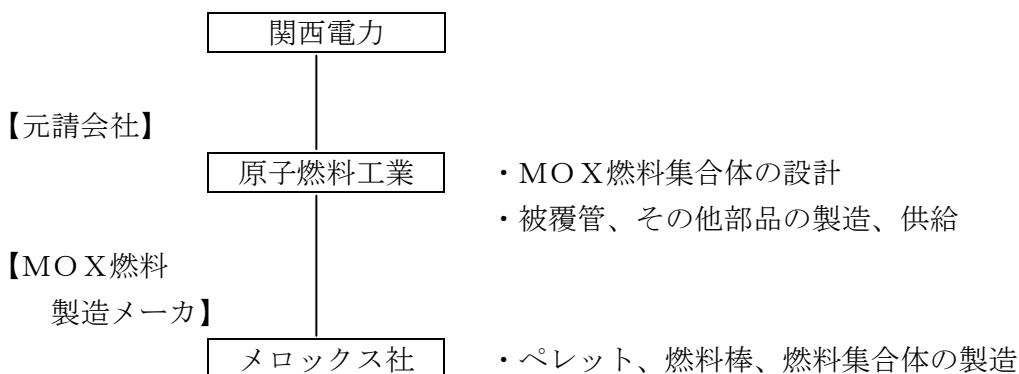
検査項目		検査実施方法		検査項目		検査実施方法	
		抜取検査	記録確認			抜取検査	記録確認
ペレット	不純物	—	○	支持格子	外寸	○	○
	U-235 濃度	—	○		外観	○	○
	プルトニウム含有率	—	○		化学成分	—	○
	プルトニウム組成	—	○		機械的性質	—	○
	直径	○	○	上部・下部 ノズル	外寸	○	○
	密度	○	○		外観	○	○
	外観	○	○		化学成分	—	○
	U+Pu+Am 含有率	—	○		機械的性質	—	○
	0/M 比	—	○	制御棒案内 シムプル	内径	○	○
	プルトニウム均一度	—	○		外観	○	○
	—	○	化学成分		—	○	
被覆管	内径	—	○		機械的性質	—	○
	肉厚	—	○	燃料棒	全長	—	○
	溶接部外径（下部）	○	○		プレナム長さ	—	○
	化学成分	—	○		溶接部外径（上部）	○	○
	水素化物方位	—	○		わん曲	—	○
	欠陥	—	○		外観	○	○
	外観	—	○		表面汚染	—	○
	耐食性	—	○		ヘリウム漏えい	—	○
	機械的性質	—	○		溶接部健全性（上部）	○	○
	溶接部健全性（下部）	○	○		燃料集合体	燃料棒間隔	—
	—	○	全長			—	○
	○	○	エンベロープ	—		○	
	—	○	直角度	—		○	
	○	○	燃料棒とノズルの間隔	○		○	
	—	○	外観	○		○	
端栓	機械的性質	—	○	燃料棒組込位置	—	○	
	頭部長さ	○	○				
	外径（最大径）	○	○				
	化学成分	—	○				
	外観	○	○				
	耐食性	—	○				

8. 添付書類六「品質保証の計画に関する説明書」

MOX燃料の調達に関する品質保証の計画について説明する。

(1) MOX燃料集合体の製造体制

【発注者】



(2) 当社の品質保証活動

当社は、「原子力発電所における安全のための品質保証規程（JEAC4111-2003）」を適用規格とする品質マネジメントシステムを構築し、品質保証活動を実施している。

(3) MOX燃料の調達に係る品質保証活動

当社は、図8-1に示すMOX燃料調達の基本プロセスを品質マネジメントシステムに定め、これに基づき、高浜発電所第3、4号機向けMOX燃料の調達に係る品質保証活動を実施している。

また、1回目のMOX燃料調達におけるペレット自主検査結果の一部の目標値逸脱について、当社は、定期監査およびその後の調査を通じて、メロックスが改善を行ったことを確認している。

業務フロー	基本プロセス	業務分担
MOX燃料 集合体調達	契約準備	本店 (原子力事業本部)
	↓	
	契約 (ホールドポイント)	本店 (原子燃料サイクル室)
	↓	
	書類審査・定期監査	本店 (原子力事業本部)
	↓	
	輸入燃料体検査申請	本店 (原子力事業本部)
	↓	
	製造 (ホールドポイント)	本店 (原子力事業本部)
↓		
輸入燃料体検査補正申請 ・ 欧州内陸上輸送	本店 (原子力事業本部)	
↓		
海上輸送 (ホールドポイント)	本店 (原子力事業本部)	
↓		
発電所受入	本店 (原子力事業本部)	
↓		
輸入燃料体検査	本店 (原子力事業本部)	
↓		
運用管理	燃料運用・管理	発電所

図 8 - 1 MOX燃料調達の基本プロセス

(4) MOX燃料調達先の評価

①原子燃料工業の評価

過去の当社向けMOX燃料の製造実績 (1999～2001年、2009年)、ウラン燃料の製造実績 8,217体 (2009年8月末)、品質保証システム監査 (2008年2月) および定期監査 (2008年10月、2009年9月) の結果に基づき、元請企業としてメロックス社を適切に管理する能力、および部品供給者の能力を有しているものと判断した。

②メロックス社の評価

MOX燃料の製造実績 2,788 体（2008 年末）、過去の当社向けMOX燃料の製造実績（1999～2001 年、2009 年）、品質保証システム監査（2008 年 2 月）および定期監査（2008 年 10 月、2009 年 9 月）の結果に基づき、当社要求事項を満たすMOX燃料の製造を行う能力を有しているものと判断した。

(5) 製造期間を通じた品質保証活動

①異常事態発生時の連絡

- ・メロックス社は、当社MOX燃料の品質保証に係る不適合が発生した場合、定められた方法および体制に従って原子燃料工業へ連絡することとしている。
- ・原子燃料工業は、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。
- ・当社は、規制当局等へ連絡することとしている。

②検査・試験管理

- ・当社は、製造期間を通じて現地工場に駐在させる社員により、製造の工程ごとに検査（立会検査、記録確認）を実施する。

③製造状況等の確認

- ・当社は、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。
 - 工程監査：ペレット、燃料棒および燃料集合体の製造初期に、適切な手順書に従い、製造、検査が実施されていること、品質記録が適切に作成されていること等について確認する。
 - 巡視：日常的に現場を観察することにより、製造状況および製造に係る品質保証活動があらかじめ定められた手順に従い実施されていることを確認する。
- ・必要に応じて規制当局が原子燃料工業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。

④第三者機関の活用

- ・当社は、工程監査およ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である仏国ビューローベリタス社の確認を受けることとしている。

以上