

玄海原子力発電所第3号機
燃料体(17行17列A型燃料集合体(ウラン・プルトニウム
混合酸化物燃料))に係る設計及び工事計画認可申請について
(審査会合における指摘事項の回答及び回答方針)

九州電力株式会社
2023年 7月27日

1. 審査会合における指摘事項 2

2. 指摘事項への回答及び回答方針 3

No.	年月日	指摘事項の内容	回答頁
1	2023年4月4日	強度評価について、本申請のMOX燃料の評価結果であり、参考として現行MOX燃料の状態を示している、又は現行MOXの評価結果を示し、本申請のMOX燃料における変更点が影響ないということを示しているのか、評価方針について明確に説明すること。	3
2	2023年4月4日	規定値を変更する不純物が、ペレット中に金属として存在するか酸化物として存在するか確認すること。	7、8
3	2023年4月4日	ペレットの温度と規定値を変更する不純物の融点との比較及び寸法安定性への影響について、記載すること。（ペレットにおける不純物元素の状態やペレット温度の定義を明確にすること。）	7、8
4	2023年4月4日	燃料棒の流動振動への影響において、燃料集合体の使用実績が、現行MOX燃料体であること及び流水試験にて下部端栓の形状変更による影響を確認していることを踏まえて、記載を適正化すること。	9
5	2023年4月4日	二酸化ウラン燃料集合体と同一の構成部品を使用しているという記載について、下部端栓の形状変更に伴う質量変化によって強度評価に影響が生じないことを踏まえて、記載を適正化すること。	10
6	2023年4月4日	耐摩耗性において、MOX燃料は二酸化ウラン燃料と同一の形状であるという記載について、大テーパ化するという方針であることがわかるように記載を適正化すること。また具体的な適合性の確認についても流水試験等の結果を踏まえて、記載を適正化すること。	11
7	2023年4月4日	設計及び工事に係る品質マネジメントシステムについて確認する。	12

No.	年月日	指摘事項の内容
1	2023年4月4日	強度評価について、本申請のMOX燃料の評価結果であり、参考として現行MOX燃料の状態を示している、又は現行MOXの評価結果を示し、本申請のMOX燃料における変更点が影響ないということを示しているのか、評価方針について明確に説明すること。

2. 1 本設工認申請書における評価結果について

本設工認申請書における評価結果については、本申請対象のA型MOX燃料体の評価結果を記載している。なお、今回の設計変更により影響を受ける評価項目については、結果として現行MOX燃料と同じ評価結果となっている。

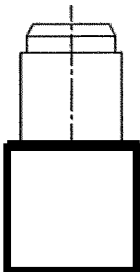
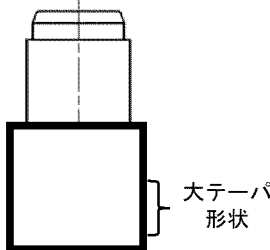
以降、それぞれの変更点及び確認内容について説明する。

【参考】

- ①現行MOX燃料と同じ評価結果：燃料集合体の強度評価
⇒設計変更に係る評価のインプット（燃料集合体総質量）に変更なし
- ②現行MOX燃料と異なる評価結果：燃料棒の応力評価
⇒設計変更に係る評価のインプットに変更はないが、現行MOX燃料（輸入燃料体検査申請書）の応力評価から地震時応力を除いた応力評価を今回実施

2. 1. 1 下部端栓大テーパ化

(1) 変更点

項目		変更前	変更後	概要
燃料要素	下部端栓			燃料棒の振動抑制（フレットング摩耗低減）を図るため、大テーパ形状へ変更。

(2) 確認内容

① 励振力測定による振動抑制（フレットング摩耗低減）効果確認

流水試験により測定された励振力が、下部端栓大テーパ化が適用されている既認可済の48GWd/tウラン燃料と同等であり、期待される振動抑制（フレットング摩耗低減）効果が得られていることを確認した。

② 圧力損失係数測定による、機械的特性等への影響確認

流水試験により測定された圧力損失係数が、既認可済の48GWd/tウラン燃料体から有意な変化がなく、上部ノズル押えばね機能、スクラム時の健全性、DNB特性、水力振動特性に影響がないことを確認した。

③ 質量変化の影響確認

下部端栓大テーパ化による質量変化は、現行A型MOX燃料と比べ、燃料集合体総質量（ kg）の0.1%未満とわずかであり、評価に用いるインプットの有効桁数未満であるため、評価に用いるインプットに変更がなく、燃料集合体の強度評価における上部ノズル押えばね機能、輸送及び取扱い時荷重（4G荷重）に影響がないことを確認した。

※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。

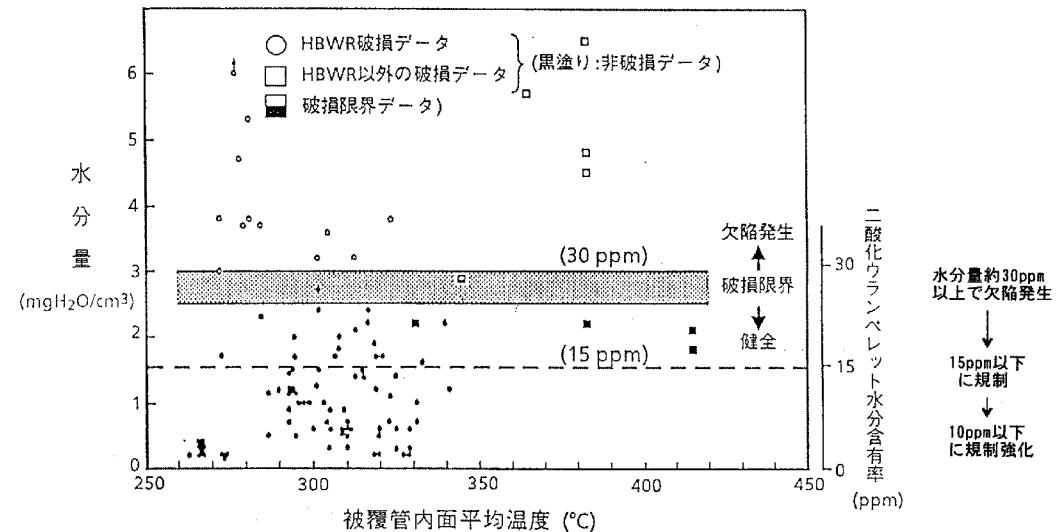
2. 1. 2 水素含有量規定値の変更

(1) 変更点

項目		変更前	変更後	概要
燃料材	組成	水素 \leq <input type="text"/> ppm	\leq <input type="text"/> ppm	MOX燃料体加工に用いる <input type="text"/> <input type="text"/> 規定値の緩和。

(2) 確認内容

ペレットに含まれる水素は燃料健全性（被覆管の機械特性）に影響を及ぼす可能性はあるが、右図に示すとおり、ウランペレットにおいては水分含有量 \leq ppm（水素含有量：約 ppm）では被覆管内面平均温度にかかわらず、ペレットに含まれる水素に起因した破損には至らない。MOX燃料体においても被覆管内面平均温度はウラン燃料体と同等であり、また、被覆材はウラン燃料体とMOX燃料体で同一であることから、ウラン燃料体と同様に、水素含有量規定値を \leq ppmとすることによる、燃料健全性への影響はない。



PWR燃料不具合対策（初期水分濃度と水素脆化欠陥発生の限界）*

* 出典：（財）原子力安全研究協会“軽水炉燃料のふるまい実務テキストシリーズNo. 3”（平成25年3月）

※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。

2. 1. 3 不純物含有量規定値の変更

(1) 変更点

項目			変更前	変更後	概要
燃料材	不純物	[]	≦ [] ppm (合計)	≦ [] ppm	MOX燃料体加工に用いる [] [] [] [] 規定値の緩和。
		[]		≦ [] ppm	
		[]		≦ [] ppm	
		[]		≦ [] ppm	

(2) 確認内容

① 中性子経済への影響確認

[] は、熱中性子吸収断面積が大きく、中性子経済に影響を及ぼす可能性はあるが、その影響については、その他の不純物による影響も含めて別途ボロン当量として管理しており、ボロン当量は従来仕様 (≦ [] ppm) から変更しないことから、中性子経済に影響はない。

※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。

No.	年月日	指摘事項の内容
2	2023年4月4日	規定値を変更する不純物が、ペレット中に金属として存在するか酸化物として存在するか確認すること。
3	2023年4月4日	ペレットの温度と規定値を変更する不純物の融点との比較及び寸法安定性への影響について、記載すること。（ペレットにおける不純物元素の状態やペレット温度の定義を明確にすること。）

②寸法安定性への影響確認

規定値を変更する不純物（）は希土類元素であり、4元素合計で最大でも ppmと微量であることから、 UO_2 にほぼ全て固溶する*。従って当該元素は金属や酸化物としてではなく、原子が UO_2 の結晶の中に溶け込んで安定して存在する。

なお、当該元素の固体から液体への相転移に伴う体積変化は1割程度であることから、仮に当該元素のごくわずかに固溶しきれていない一部が金属形態でペレット中に存在し、融点よりも高温になり溶融したとしても、寸法安定性に影響するものではない。

*：（財）原子力安全研究協会“軽水炉燃料のふるまい 実務テキストシリーズNo. 3”（平成25年3月）には「核分裂によって生成される数%の希土類元素は、そのほとんどが UO_2 に固溶する」とあり、これは UO_2 のウラン原子と希土類元素の原子半径が同程度であることによるものであることから、製造段階の不純物希土類元素もppmオーダーであれば同様にそのほとんどが UO_2 に固溶する。

※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。

No.	年月日	指摘事項の内容
2	2023年4月4日	規定値を変更する不純物が、ペレット中に金属として存在するか酸化物として存在するか確認すること。
3	2023年4月4日	ペレットの温度と規定値を変更する不純物の融点との比較及び寸法安定性への影響について、記載すること。（ペレットにおける不純物元素の状態やペレット温度の定義を明確にすること。）

当該4元素合計の含有量は、最大でも ppmと微量であり、当該元素が仮に金属形態でペレット中に存在した場合でも、ペレット体積に占める割合は0.001%にも満たない。これはペレット直径が最大公差となる場合の体積変化（0.3%程度）と比較しても十分小さい。

従って、当該元素が融点よりも高温になり溶融したとしても、その影響は無視できるほど小さい。

なお、参考としてペレットの中心最高温度と不純物の当該元素が金属形態の場合の融点を以下に示す。

【参考】

・不純物（ ）の融点

	融点*（金属）
<input type="text"/>	°C
<input type="text"/>	°C
<input type="text"/>	°C
<input type="text"/>	°C

*出典：セラミック工学ハンドブック【第2版】社団法人 日本セラミックス協会編

・MOXペレット中心最高温度（運転時の異常な過渡変化時）：約 2,240 °C

※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。

No.	年月日	指摘事項の内容
4	2023年4月4日	燃料棒の流動振動への影響において、燃料集合体の使用実績が、現行MOX燃料体であること及び流水試験にて下部端栓の形状変更による影響を確認していることを踏まえて、記載を適正化すること。

2. 2 設工認申請書添付資料の記載の適正化について

○申請書 添付資料7

・ 3. 4. 11 (1) a. 燃料棒の流動振動への影響

本申請のMOX燃料体は、流水試験により、フレットング摩耗を起因とする漏えいの可能性の低減が図れていることが確認できている旨を記載する。

No.	年月日	指摘事項の内容
5	2023年4月4日	二酸化ウラン燃料集合体と同一の構成部品を使用しているという記載について、下部端栓の形状変更に伴う質量変化によって強度評価に影響が生じないことを踏まえて、記載を適正化すること。

○申請書 添付資料 7

・ 4.1 燃料集合体の設計基準

下部端栓の形状変更により質量が減少するが、その量は燃料集合体総質量の0.1%未満とわずかであり、評価に用いるインプットの有効桁数未満であるため、評価のインプットに変更がない旨及び二酸化ウラン燃料体と構成部品が同等である旨を記載する。

No.	年月日	指摘事項の内容
6	2023年4月4日	耐摩耗性において、MOX燃料は二酸化ウラン燃料と同一の形状であるという記載について、大テーパー化するという方針であることがわかるように記載を適正化すること。また具体的な適合性の確認についても流水試験等の結果を踏まえて、記載を適正化すること。

○申請書 添付資料8

・4.1.4.2 耐摩耗性

燃料棒や支持格子の材料及び形状が二酸化ウラン燃料体と同等である旨及び本申請のMOX燃料体は、流水試験により、二酸化ウラン燃料と同様にフレッティング摩耗を起因とする漏えいの可能性の低減が図れていることが確認できている旨を記載する。

なお、励振力又は圧力損失係数と関連のある上記以外の項目についても、流水試験により影響を確認した旨を追記する。

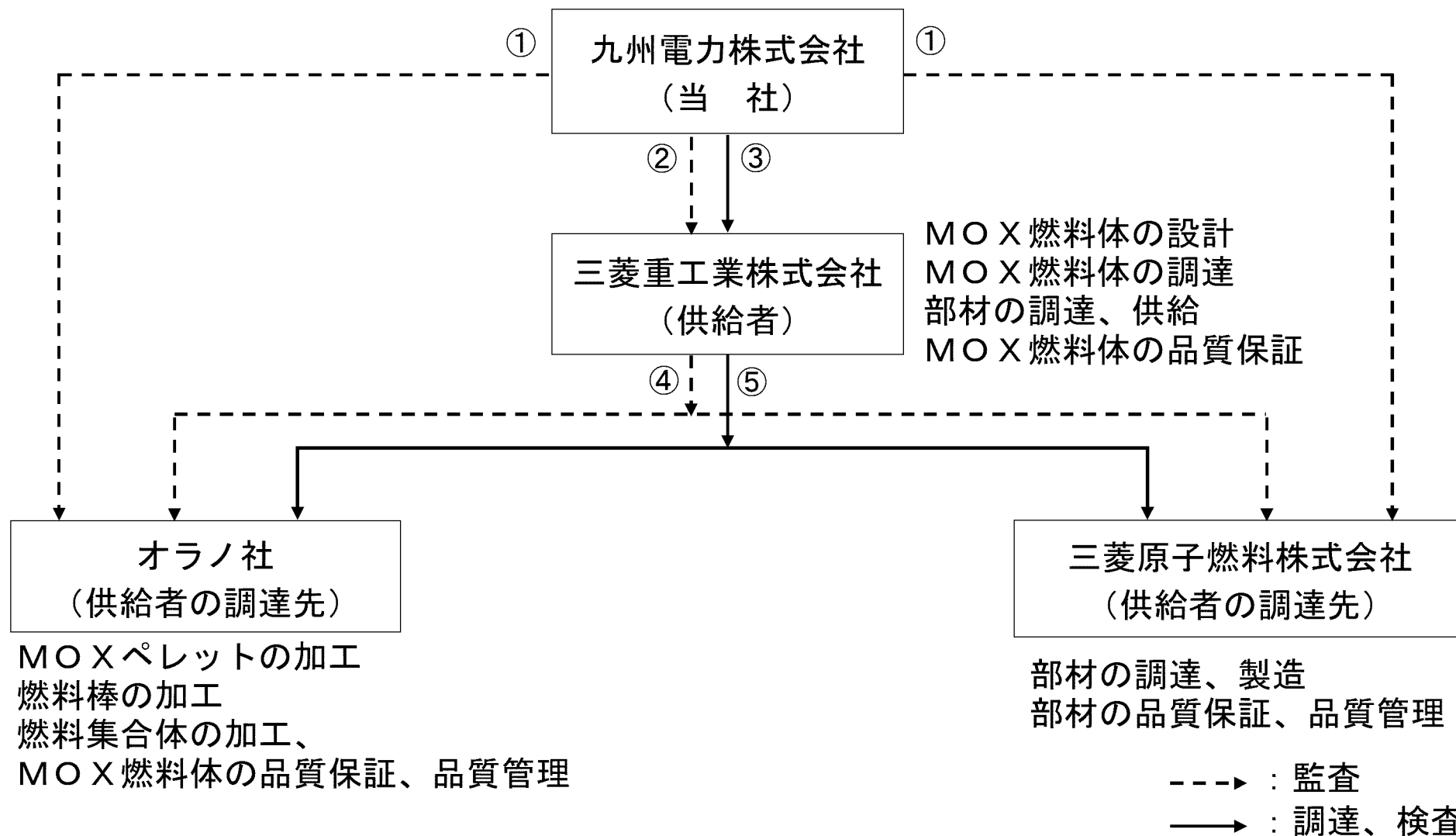
No.	年月日	指摘事項の内容
7	2023年4月4日	設計及び工事に係る品質マネジメントシステムについて確認する。

- ・海外でA型MOX燃料体を加工するにあたり、当社は国内の燃料メーカーである三菱重工業株式会社を元請企業とし、同社にて設計、仏国オラノ社メロックス工場にて、MOXペレット、燃料棒及び燃料集合体の加工を行う予定である。
MOXペレット以外の部品（被覆管、端栓、上下部ノズル、支持格子等。以下、「部材」という。）については、三菱重工業株式会社が国内のウラン燃料加工メーカーである三菱原子燃料株式会社から調達し、オラノ社に供給する予定である。
- ・社員を現地工場（三菱原子燃料株式会社及びオラノ社メロックス工場）に派遣し、A型MOX燃料体の加工の工程ごとに、検査計画に従い適切なタイミング*で検査を実施し、三菱原子燃料株式会社及びオラノ社の製品の品質が適正に確保されていることを確認する予定である。
- ・今後、供給者である三菱重工業株式会社、供給者の調達先である三菱原子燃料株式会社及びオラノ社を対象にして、当社が直接受注者品質保証監査を実施する予定である。

* 検査(1)燃料材、燃料被覆材その他の部品については、組成、構造又は強度に係る試験をすることができる状態になった時

検査(2)燃料要素の加工が完了した時

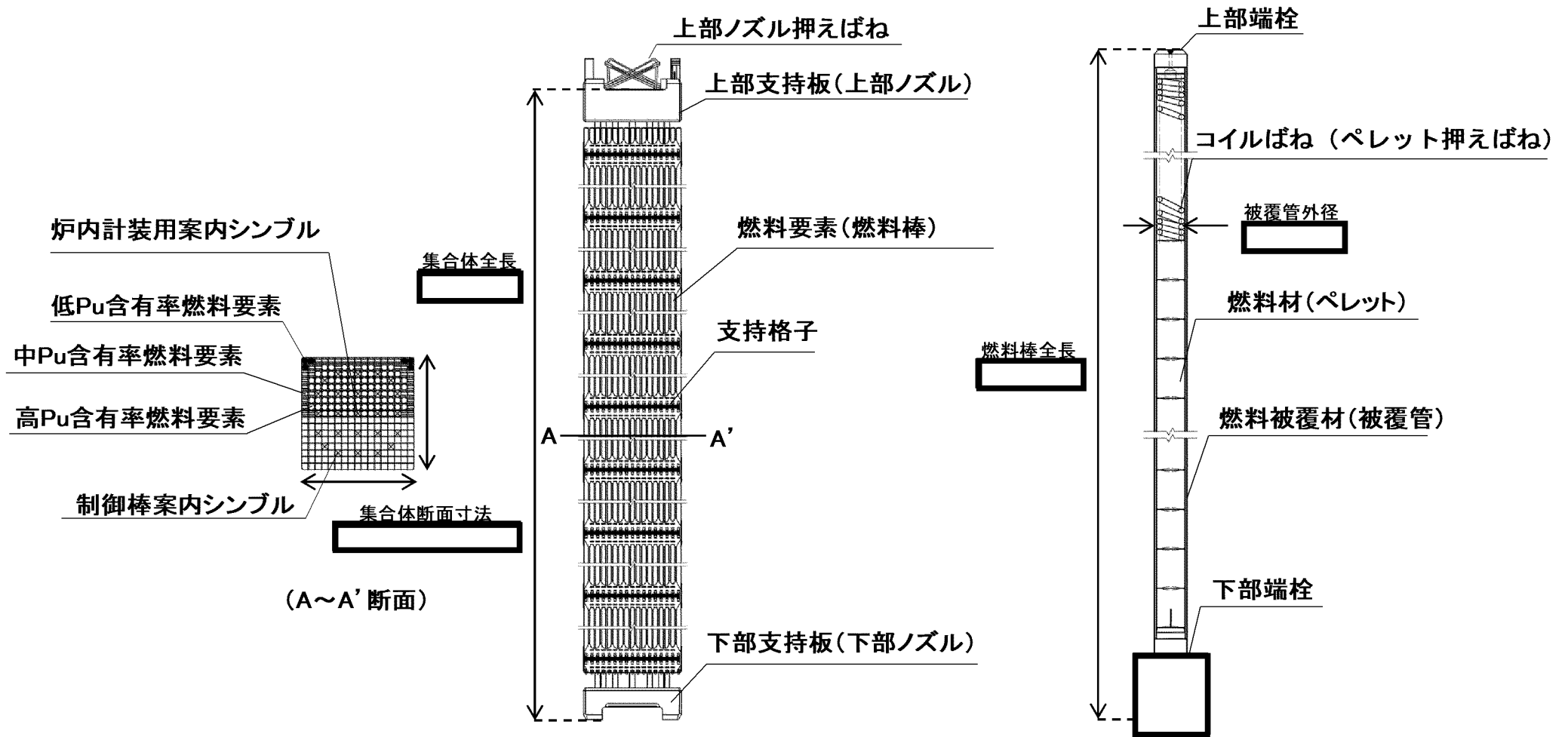
検査(3)加工が完了した時



- ①、② : 品管説明書 「3.6.4 受注者品質保証監査」に基づく対応
- ③ : 品管説明書 「3.6.3 調達製品の調達管理 (3) 調達製品の検証」に基づく対応
- ④、⑤ : 品管説明書 「3.6.3 調達製品の調達管理 (1) 調達仕様書の作成」に基づき、三菱重工株式会社に対する「調達仕様書」により、「三菱重工株式会社が調達先に検査・監査を実施すること」を要求する予定である

A型MOX燃料体の製造体制 (予定)

参 考



燃料集合体の構造概要図

燃料棒の構造概要図

※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。

項 目		燃料設計仕様
ペレット	<ul style="list-style-type: none"> ・材料 ・直径 ・長さ ・密度（理論密度比） 	ウラン・プルトニウム混合酸化物 [Redacted]
被覆管	<ul style="list-style-type: none"> ・材料 ・外径 ・厚さ 	ジルカロイ-4 [Redacted]
燃料棒	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料棒全長 	[Redacted]
燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料棒配列 ・燃料棒数 ・燃料棒ピッチ ・集合体全長 ・集合体断面寸法 ・支持格子材料 ・支持格子数 ・制御棒案内シングル材料 ・制御棒案内シングル数 ・炉内計装用案内シングル材料 ・炉内計装用案内シングル数 ・燃料集合体最高燃焼度 	17×17 264 本 [Redacted] インコネル-718 9 ジルカロイ-4 24 ジルカロイ-4 1 45,000 MWd/t

※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。