

当社原子力発電所における燃料集合体ウォータ・ロッドの
曲がりに係る調査結果について（最終報告）

平成 25 年 7 月

東京電力株式会社

目 次

1. はじめに.....	1
2. 指示事項.....	1
2.1 10月19日付け指示文書の指示事項	1
2.2 11月28日付け指示文書の指示事項	2
3. 事象の概要	2
3.1 燃料集合体外観点検結果	2
3.2 ファイバースコープ点検結果.....	3
4. ウォータ・ロッドの曲がり事象に対する調査方針	4
5. 原因調査.....	5
5.1 要因分析図に基づく調査項目	5
5.1.1 照射成長に伴う要因.....	5
5.1.1.1 照射成長に関する設計調査	5
5.1.1.2 製造履歴調査.....	5
5.1.1.3 装荷履歴調査.....	6
5.1.1.4 ウォータ・ロッドと上下部タイ・プレートの干渉状況調査	6
5.1.2 外力に伴う要因	6
5.1.2.1 新潟県中越沖地震による影響調査	7
5.1.2.2 燃料集合体取扱作業調査.....	7
5.1.2.3 チャンネル・ボックス装着作業調査.....	8
5.2 ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズム	10
5.2.1 モックアップ試験	10
5.2.1.1 単体モックアップ試験	10
5.2.1.2 全長模擬モックアップ試験	11
5.2.2 ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズムに影響を与える条件	11
5.2.2.1 製造プロジェクトにおける材料特性の分布.....	12
5.2.2.2 照射硬化	12
5.2.2.3 燃料タイプ別の上部タイ・プレートとの干渉の違い	12
5.2.3 チャンネル・ボックス装着履歴に着目した燃料集合体の外観点検	13
5.2.3.1 調査対象燃料及び点検計画	13
5.2.3.2 使用済燃料プール内の燃料集合体を対象とした外観点検の結果	14
5.2.3.3 原子炉内継続使用予定燃料を対象とした外観点検の結果	15
5.2.3.4 外観点検結果まとめ	16
5.3 原因調査結果まとめ	19
6. 推定原因.....	20

7. 平成 10 年の不具合の対策の有効性	20
8. 炉心特性等への影響	21
8.1 燃料集合体の局所の核特性への影響	21
8.2 炉心特性への影響	22
9. 安全解析への影響	22
9.1 安全解析等への影響評価項目	22
9.2 燃料の機械設計への影響	23
9.3 炉心特性、反応度係数への影響	24
9.4 動特性への影響	26
9.5 運転時の異常な過渡変化への影響	26
9.6 事故解析への影響	27
9.7 安全解析への影響評価結果まとめ	28
10. ウォータ・ロッドの曲がりが発生しこれまで発見に至らなかった経緯	29
10.1 平成 10 年に確認した燃料集合体（スペーサ）の不具合の概要及び当時ウォータ・ロッドの曲がり事象の発見に至らなかった経緯	29
10.1.1 事象の概要	29
10.1.2 当時ウォータ・ロッドの曲がり事象の発見に至らなかった経緯	29
10.2 ウォータ・ロッドの曲がりのある燃料が装荷された経緯	30
10.2.1 過大な荷重がかかる作業を実施していた経緯	30
10.2.2 これまで発見に至らなかった経緯	31
11. 今後の改善事項	32
11.1 燃料設計変更時の作業方法の確認	32
11.2 燃料集合体外観検査	32
12. まとめ	33
13. 添付資料	34

1. はじめに

東北電力株式会社女川原子力発電所 3 号機において発生したチャンネル・ボックス上部（クリップ）の一部欠損に関連して、原子力安全・保安院（現 原子力規制委員会）から受領した指示文書^{※1}に基づき、柏崎刈羽原子力発電所 5 号機において使用済燃料プールに保管中の燃料集合体の外観点検を実施していたところ、平成 24 年 10 月 16 日に使用済の高燃焼度 8×8 燃料（日本ニュークリア・フュエル（JNF）^{※2}製）のウォータ・ロッドに曲がりを確認した。

当該事象の発生を受けて、当社各プラントにおいてウォータ・ロッドの曲がりに関連して順次点検を実施しており、これまでに柏崎刈羽原子力発電所の 1 号機において 6 体、2 号機において 2 体、5 号機において 18 体の合計 26 体の使用済燃料（いずれも JNF 製高燃焼度 8×8 燃料）に同様な事象が発生していることを確認した。

本事象に関しては、原子力規制委員会より、平成 24 年 10 月 19 日に指示文書「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所第 5 号機の燃料集合体ウォータ・ロッドの曲がりについて（指示）」（原規防発第 121017001 号）（以下「10 月 19 日付け指示文書」という）が発出され、次いで同年 11 月 28 日に指示文書「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所第 5 号機の燃料集合体ウォータ・ロッドの曲がりについて（指示）」（原管 B 発第 121127001 号）（以下「11 月 28 日付け指示文書」という）が発出されている。

10 月 19 日付け指示文書に基づき、平成 24 年 10 月 26 日に調査方針、同年 11 月 6 日に点検結果を中間報告している。また、10 月 19 日付け指示文書及び 11 月 28 日付け指示文書に基づき、平成 25 年 1 月 7 日に調査状況、平成 25 年 5 月 31 日に原因調査結果を中間報告している。

本報告書は、10 月 19 日及び 11 月 28 日付け指示文書に基づき計画していた燃料集合体の外観点検が終了したことから、その結果を反映したウォータ・ロッドの曲がりの調査結果を最終報告するものである。

※1:「燃料集合体チャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損について（指示）」（20120810 原院第 2 号）

※2: 現在の名称はグローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン（GNF-J）。

2. 指示事項

2.1 10 月 19 日付け指示文書の指示事項

- (1) 5 号機にて確認された 2 体の燃料集合体のウォータ・ロッドの曲がり及び燃料集合体のその他の構成要素についての状況を把握し、その原因を究明するための調査の方針及び具体的な調査計画を策定し、平成 24 年 10 月 26 日までに報告すること。

（平成 24 年 10 月 26 日報告済み）

- (2) その際、併せて、曲がりが確認された 2 体の燃料集合体の履歴とそれまでに把握した曲がりの詳細状況及び 5 号機におけるその他の燃料集合体の点検状況についても、

平成 24 年 10 月 26 日までに報告すること。

(平成 24 年 10 月 26 日報告済み)

- (3) (1)で策定した計画に基づき曲がりの状況把握及び原因究明を行い、その結果について速やかに報告すること。

(平成 25 年 5 月 31 日報告済み)

2.2 11 月 28 日付け指示文書の指示事項

- (1) 原子力発電所の燃料集合体について以下の事項を確認の上、平成 25 年 1 月 7 日までに報告すること。

- ① 燃料集合体の取り替え回及び製造メーカー
- ② チャンネル・ボックスの新品・再使用品等の区分とその数
- ③ 燃料集合体へのチャンネル・ボックスの取り付け方法
- ④ 再使用チャンネル・ボックスを装着した燃料集合体及び点検等によりチャンネル・ボックスを脱着した履歴のある燃料集合体の数及び所在場所

(平成 25 年 1 月 7 日報告済み (今回 5.2.3 章に再掲))

- (2) 再使用チャンネル・ボックスを装着した燃料集合体及びチャンネル・ボックスの脱着履歴のある燃料集合体の異常の有無等について、統計上十分なサンプル点検を実施し、その結果についても平成 25 年 1 月 7 日までに報告すること。

(平成 25 年 1 月 7 日、5 月 31 日一部報告済み、今回報告 (5.2.3 章))

- (3) 原子炉内に装荷している燃料集合体又は今後原子炉に装荷を予定している燃料集合体のうち、再使用チャンネル・ボックスを装着した燃料集合体又はチャンネル・ボックスの脱着履歴のある燃料集合体について、当該燃料集合体を装荷した原子炉を起動する前に点検を実施し、その結果について速やかに報告すること。

(平成 25 年 1 月 7 日、5 月 31 日一部報告済み、今回報告 (5.2.3 章))

- (4) (2)(3)のそれぞれの点検において、燃料集合体の異常が確認された場合、その状況把握及び原因究明を行い、その結果について速やかに報告すること。

(平成 25 年 1 月 7 日、5 月 31 日一部報告済み、今回報告 (3 章～6 章))

3. 事象の概要

ウォータ・ロッドの曲がりの状況把握については、事象発生以降計画的に進めてきた。ウォータ・ロッドの曲がり事象の概要について以下に示す。

3.1 燃料集合体外観点検結果

最初にウォータ・ロッドの曲がりを確認した柏崎刈羽原子力発電所 5 号機においてこれまでに 116 体の外観点検を行うとともに、同 1 号機において 86 体、同 2 号機において 89 体、同 3 号機において 65 体、同 4 号機において 64 体、同 6 号機において 76 体、同 7 号機において 72 体、福島第二原子力発電所 4 号機において 35 体の計 603 体の外観点検を行ってきた^{*3}。その結果、計 26 体（柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 6

体、同 2 号機 2 体、同 5 号機 18 体)の使用済燃料集合体のウォータ・ロッドに曲がりを確認した。

ウォータ・ロッドの曲がりには上部及び下部に設けられた細径部において発生しており、特徴的な様相として以下の状況を確認した。

- ・上部細径部のウォータ・ロッドの曲がりには、細径部の中央部付近を中心として「くの字」の形となるように発生していた。特に当該部分の曲がり大きい燃料集合体では、ウォータ・ロッドの曲がりに伴って、隣接する燃料棒が押され、その外側の燃料棒側に曲がった結果、燃料棒同士が接触していることを確認した (K5D34、K5D108、K5E57、K1J101)。なお、燃料棒同士が接触していた部位はプレナム領域(核分裂によって生成されたガスを溜める部分)であり、燃料ペレットは装填されていない。
- ・上部細径部のウォータ・ロッドの曲がりに伴って、それにつながる太径部にも影響が及んでおり、太径部が所定の位置から径方向にずれている様子を確認した。このずれは第 7 スペーサ(最上部のスペーサ)によって矯正されるが、特に上部細径部のウォータ・ロッドの曲がり大きい燃料集合体では、第 7 スペーサの下方の太径部においてもわずかなたわみが発生している様子を確認した。
- ・下部細径部のウォータ・ロッドの曲がりには、細径部の下部に設けられた通水孔付近を中心として発生していた。

※3：チャンネル・ボックス一部欠損事象の調査を目的とした外観点検も含む。

(添付資料-1、2、3、4、5、6、7、8)

3.2 ファイバースコープ点検結果

柏崎刈羽原子力発電所 5 号機においてウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体 18 体のうち、曲がり大きい 2 体を代表として、ファイバースコープを用いた燃料集合体内部の詳細点検を行った。

なお、2 体の燃料集合体はそれぞれ以下の観点から選定しており、8 章及び 9 章の炉心特性や安全解析等への影響評価における入力となっている。

燃料集合体番号 K5E39：ウォータ・ロッド下部の細径部に横ずれ状態の大きな変形を確認したもの。

燃料集合体番号 K5D34：ウォータ・ロッド上部の細径部に大きな変形が発生し、隣接する燃料棒と接触している様子を確認したもの。

ファイバースコープ点検の結果から、以下の事実が確認・考察された。

- ① ウォータ・ロッド下部の細径部の変形は、比較的強度が低い通水孔付近で発生しており、通水孔が上方から押し潰されるように変形していた。この事実はウォータ・ロッドの曲がりが上方からの外力を起因として発生したことを示唆している。通水孔は計 12 個(高さ方向に 3 段、各段 4 個ずつ)あるが、変形の程度が大きい K5E39 では、そのうち最大で 6 個に形状変化があると評価した。
- ② K5D34 では、変形したウォータ・ロッド上部の細径部が隣接する燃料棒に接触し

て押し込んだ結果、その燃料棒が曲がって、さらに別の燃料棒に接触していた（燃料棒同士が接触）。

- ③ ウォータ・ロッドの上下部の端栓には、原子炉内での使用中における中性子照射に伴う伸び（照射成長）を吸収する余裕が残されていた。仮に照射成長によってウォータ・ロッドの曲がりが発生した場合、端栓は上下部タイ・プレートに隙間なく接触していると考えられるため、この事実はウォータ・ロッドの曲がり設計を超える照射成長を起因として発生したものではないことを示唆している。
- ④ ファイバースコープで確認可能な範囲において、スペーサ等のその他の部材に有害な損傷や所定の位置からのずれは確認されなかった。

（添付資料-9、10）

4. ウォータ・ロッドの曲がり事象に対する調査方針

燃料集合体は、燃料工場において燃料体検査を受検し、それに合格した後に発電所に輸送される。発電所においては、当社検査員による新燃料受取検査によって、輸送中に問題が生じていないことを確認した後でチャンネル・ボックスを取り付けている。ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体は、いずれも新燃料受取検査に合格していることから、当該事象は発電所における新燃料受取検査以降に発生したものとする。

そのため、発電所における新燃料受取検査以降、使用済燃料となって使用済燃料プールに貯蔵されるまでの各段階においてウォータ・ロッドの曲がりが発生する要因に関して表 4 の方針に基づき調査を実施した。

表 4 調査方針

	調査項目	調査内容
①	要因分析に基づく推定メカニズムの調査 【5.1 章】	ウォータ・ロッドの照射成長に伴う要因
		ウォータ・ロッドに作用する外力に伴う要因
②	推定メカニズムの検証 【5.2 章】	ウォータ・ロッドに曲がりが発生する荷重
		作業によって生じる荷重
		推定メカニズムに影響を与える条件
		作業履歴に着目した外観点検
		確認されていない他の不具合の可能性
③	推定原因と対策 【6～7 章】	推定原因及び現在実施している対策の有効性
④	影響評価 【8～9 章】	炉心特性等への影響
		安全解析への影響

なお、調査の過程において明らかとなった、ウォータ・ロッドに曲がりが発生しこれまで発見に至らなかった経緯と、それに対する今後の改善事項を 10～11 章で述べる。

5. 原因調査

ウォータ・ロッドの曲がりの原因調査結果を以下に示す。

5.1 要因分析図に基づく調査項目

ウォータ・ロッドは燃料集合体の内部に配置した部材であり、上下をタイ・プレートに挟まれている。ウォータ・ロッドに曲がりが発生するためには、ウォータ・ロッド自身が上下方向に伸びるか、またはウォータ・ロッドに対して上下方向からの外力が作用する必要がある。それぞれのケースにおける要因について、要因分析図に基づき調査を実施した。

(添付資料-11、12)

5.1.1 照射成長に伴う要因

ジルコニウム及びその合金は、応力が付加されない状態でも高速中性子照射量に応じて変形が生じる（照射成長）。この照射成長の基本的なメカニズムはジルコニウム単結晶における六方晶の変形によるものであり、燃料被覆管のような管材では軸方向への照射成長が生じる。燃料集合体を原子炉内で使用している際に照射成長によってウォータ・ロッドが曲がる要因について調査した。

5.1.1.1 照射成長に関する設計調査

ウォータ・ロッドは、燃料被覆管と同じくジルコニウム合金を用いた管材であり、高速中性子照射により、同様に軸方向に照射成長を生じる。通常の運転条件・装荷履歴においては、燃料被覆管の方が受ける高速中性子照射量が多く、照射成長量も大きくなる。そのため、燃料設計においては、燃料被覆管とウォータ・ロッドの照射成長の差によって、ウォータ・ロッドが上下部タイ・プレートからはずれることがないように、端栓の長さや段付き部の位置を定めている。

当該燃料集合体は、設計上規定されている最高燃焼度の範囲内で使用しており、5.1.1.3 章の通り、特異な装荷履歴もないことから、運転期間中にウォータ・ロッドが照射成長することによって、上下部タイ・プレートと接触して荷重を受けることはない。

5.1.1.2 製造履歴調査

ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体の製造期間について、その前後の製造プロジェクトを含む期間に渡り、ウォータ・ロッドの製造時の材料記録、外観・寸法記録、溶接記録及びウォータ・ロッドの熱処理・圧延等に関する仕様の変更の有

無等を確認した。その結果、ウォータ・ロッドの曲がりを確認した製造プロジェクトにおいても仕様を満足していること、また、曲がりを確認した製造プロジェクトと曲がり確認されていない製造プロジェクトとの差異がないことを確認した。

(添付資料-13)

5.1.1.3 装荷履歴調査

ウォータ・ロッドの曲がり確認された燃料集合体の装荷履歴を調査した結果、曲がり確認されていない燃料集合体の装荷履歴と比較して、装荷位置や装荷サイクル数（期間）に特異な差異は確認されなかった。

(添付資料-14)

5.1.1.4 ウォータ・ロッドと上下部タイ・プレートの干渉状況調査

3.2 章の通り、ウォータ・ロッドの曲がり確認された燃料集合体の内部をファイバースコープにより調査した結果、ウォータ・ロッドの上下部の端栓には、原子炉内での使用中における照射成長を吸収する余裕が残されていた。仮に照射成長によってウォータ・ロッドの曲がりが発生した場合、端栓は上下部タイ・プレートに隙間なく接触していると考えられ、ウォータ・ロッドの曲がり設計を超える照射成長を起因として発生したものではないと判断できる。

(添付資料-10)

5.1.2 外力に伴う要因

燃料集合体の上部タイ・プレートは、上面を燃料棒（タイ・ロッド）に組み付けたナットによって拘束され、下面を燃料棒及びウォータ・ロッドのエクспанション・スプリングによって支えられた状態となっており、上方からばね力に打ち勝つだけの外力が加えられた場合、下方に沈み込む挙動をする。

ウォータ・ロッドの曲がり確認された高燃焼度 8×8 燃料の燃料棒及びウォータ・ロッドの上部端栓には、上部タイ・プレートに差し込むための径の細い部分の下側に径が太くなる段付き部を設けており、上部タイ・プレートが下方に沈み込んでくると、この段付き部に衝突する取り合いとなっている。ウォータ・ロッドの照射成長量が燃料棒の照射成長量よりも小さいことを考慮して、設計上、ウォータ・ロッドの上部端栓の段付き部長さは長めに設定されており、燃料棒よりもウォータ・ロッドの段付き部は高い位置にある。従って、上部タイ・プレートが下方に沈み込んできた際には、高い位置にあるウォータ・ロッドの段付き部だけが先に衝突して外力を受ける構造となっている。

以上のメカニズムによって、上部タイ・プレートに上方からばね力に打ち勝つだけの外力が加えられた場合、ウォータ・ロッドに外力が作用することになる。

ここでは、上記のメカニズムに合致するような、燃料集合体の取り扱いを通じて上方から外力が加わる作業を抽出し、その影響を検討するとともに、新潟県中越沖地震による影響も検討することで、ウォータ・ロッドが外力によって曲がる要因について

調査した。

(添付資料-12)

5.1.2.1 新潟県中越沖地震による影響調査

ウォータ・ロッドの曲がりの状況から、上下方向から外力が加えられて、細径部（ウォータ・ロッドの上部及び下部）が曲がった様子が観察されている。一方、地震時に加わる応力は、多くが水平方向加速度に起因するものであり、燃料集合体の上部と下部が炉心支持板で拘束されていることから、中央部（ウォータ・ロッドは太径部に相当）を中心として、燃料集合体を弓状に振動させる力が働くと考えられる。これは観察されたウォータ・ロッドの曲がりの状況と合致していない。また、新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原子力発電所における鉛直方向加速度は 1G 以下であり、燃料集合体を浮き上がらせる大きさではなく、上下方向に大きな外力を発生させるようなものではない。

従って、ウォータ・ロッドの曲がりは、新潟県中越沖地震時に起因した外力によって発生したものではないと考える。

5.1.2.2 燃料集合体取扱作業調査

燃料集合体を取り扱う作業（チャンネル・ボックス着脱作業以外）としては、燃料取出、燃料装荷、チャンネル・ボックス外観点検、チャンネル・ボックス寸法測定、チャンネルファスナ外観点検、ガスシッピング検査がある。いずれも燃料取替機を用いる作業であるが、燃料取替機が燃料集合体と干渉し得る高さ近傍での下降速度は微速モード（1 m/分）となるよう制御されている。また、着座の際に過大な荷重がかかることを防止するために、吊り荷重の変化を検知し速やかに停止する機能を有しており、着床荷重は約 1.5 kN に留まる。

なお、燃料集合体取扱作業時に通常用いる、燃料取替機の自動運転においては、燃料集合体を予め入力した移動先位置に自動で位置合わせするため、原子炉内または使用済燃料プール内にある他の燃料集合体の上部に乗り上げることは想定し難い。しかしながら、仮に手動運転を選択した上で、操作員が誤って他の燃料集合体の上部に乗り上げさせた場合においても、乗り上げられた側の燃料集合体に加わる荷重は約 3.6 kN である。

また、水シッピング検査において、原子炉内の燃料集合体にシッパーキャップ（燃料集合体内部から漏えいした放射性物質が溶け込んだ水を収集するために、燃料集合体上部を覆う形で被せる箱状の検査装置）を装着するが、その装着時の荷重も約 0.1 kN である。

以上より、燃料集合体を取り扱う作業（チャンネル・ボックス着脱作業以外）によって、ウォータ・ロッドの曲がりが発生するような過大な荷重（5.2.1.1 章に示す「曲がり発生荷重推定値」（約 8 kN））が作用することはないことを確認した。

5.1.2.3 チャンネル・ボックス装着作業調査

新燃料へのチャンネル・ボックスの装着は、通常、新品のチャンネル・ボックスを気中において装着している。しかしながら、再使用チャンネル・ボックス（一度原子炉内で短期間照射された後に、別の燃料に取り付けるチャンネル・ボックス）を装着する場合等には、作業員の被ばく管理等の観点から、水中で実施する必要がある。

また、照射した燃料集合体の外観点検等のために、チャンネル・ボックスを脱着する場合においても、作業員の被ばく管理等の観点から、水中で実施している。

(1) 気中におけるチャンネル・ボックスの装着作業

気中におけるチャンネル・ボックスの装着は、クレーンでチャンネル・ボックスを新燃料検査台に縦置きした燃料集合体の真上まで吊り上げた状態で、クレーンを巻き下げることによって行う。

クレーンでチャンネル・ボックスを吊り上げる際には、専用の吊り具を用いるが、この吊り具をそのままチャンネル・ボックスが完全に装着されるまで使用すると上部タイ・プレートと干渉してしまう取り合いとなっている^{※4}。そこで、下部タイ・プレート近傍（チャンネル・ボックスが完全に装着される位置まで約 20 cm）の高さまでチャンネル・ボックスを挿入した時点で、チャンネル・ボックスを吊り具から取り外し、その後はチャンネル・ボックスの下部を作業員が保持しながら降ろすこととしている。こうした作業では下部タイ・プレートを直接目視で確認しながら行うため、作業員が燃料集合体とチャンネル・ボックスの取り合いを容易に確認することができる。

その後の作業方法は、下部タイ・プレートに設けられた漏えい流の制御機構（チャンネル・ボックスと下部タイ・プレートの隙間から流出する冷却水の流れを制限するための部材）が「フィンガスプリング」であるか、「リーク制御板」であるかによって異なる。

フィンガスプリング付きの燃料集合体については、チャンネル・ボックス下端部がフィンガスプリング部を通過する際に、フィンガスプリングのバネ力に起因する摩擦力が発生する。そのため、チャンネル・ボックス下端部がフィンガスプリング部に乗った状態で、作業員はチャンネル・ボックスの下部を保持しながら降ろす作業を中断する。そして、チャンネル・ボックスの上方側から、チャンネル・ボックスの上端部と上部タイ・プレートの間隙がなくなるまで押し込む作業を行うことで、チャンネル・ボックスを完全に装着する。

なお、水中における作業とは異なり、この作業においては、作業員が間隙を直接目視確認できるため、間隙がなくなった後に更に押し込む必要はない。また、ウォータ・ロッドの上部端栓と上部タイ・プレートの嵌め合い部を間近で確認することができるため、仮にウォータ・ロッドに荷重が伝達されるような状況に至った場合には検知することが可能と考える。

一方、リーク制御板付きの燃料集合体については、フィンガスプリング付きの燃料集合体のようにチャンネル・ボックス装着作業時に摩擦力が発生することがないことから、上記のような押し込む作業を行う必要はなく、作業員は完全に装着されるまで

チャンネル・ボックスの下部を保持しながら降ろす作業を継続する。

※4：近年、上部タイ・プレートと干渉しないよう形状を変更した吊り具が開発されており、この吊り具を用いる場合には、チャンネル・ボックスを装着する途中で吊り具を取り外す必要はない。

(添付資料-15-1)

(2) 水中におけるチャンネル・ボックスの装着作業（平成 10 年以前）

水中におけるチャンネル・ボックス装着作業は、クレーンでチャンネル・ボックスをチャンネル着脱機（FPM）に縦置きした燃料集合体の真上で吊った状態で、FPMを上昇する、または、クレーンを巻き下げることによって行う。

作業員の被ばく管理の観点から、水中における作業は水面下約 2 m以上の位置で行う。そのため、チャンネル・ボックスに専用のチャンネル取扱具（長い棒状の柄が付いた治具）を装着した上で、その取扱具をクレーンで吊ることとしている。チャンネル取扱具は、燃料集合体の部材と干渉することではなく、チャンネル・ボックスが完全に装着されるまで使用することが可能である。

気中における作業と同様、水中における作業でも、「フィンガスプリング付き」か「リーク制御板付き」かによって作業方法は異なり、リーク制御板付きの燃料集合体については、FPM を上昇する、または、クレーンを巻き下げることで基本的にチャンネル・ボックスを完全に装着することができる。

一方、フィンガスプリング付きの燃料集合体については、チャンネル・ボックス下端部がフィンガスプリング部を通過する際に発生する摩擦力に打ち勝つ力を加えて、チャンネル・ボックスの上端部と上部タイ・プレートの間隙がなくなるまで押し込む必要がある。平成 10 年以前には、こうした作業はチャンネル取扱具のみを用いて行っており、チャンネル・ボックスの装着状態の確認を、水中カメラを用いて行っておらず、効率的に十分な大きさの力を加えるために、チャンネル取扱具とともにチャンネル・ボックスを一旦引き上げた後、落とし込んで取り付ける等の作業方法を行っていた。

(添付資料-15-2)

(3) 水中におけるチャンネル・ボックスの装着作業（平成 10 年以降）

平成 10 年に、当社柏崎刈羽原子力発電所 1 号機において、照射燃料に対する水中でのチャンネル・ボックス脱着作業に関連し、スパーサを構成する部材（「架橋板」）を破損させる事象を確認した（10.1.1 章参照）。

この事象を受け、それ以降、大幅に水中における作業方法の見直しを行い、燃料集合体に過大な荷重を与えないような標準的な手順を整備した。それによって、ウォーター・ロッドに伝達される荷重は、十分小さく管理できるようになった。

この手順では、フィンガスプリング付きの燃料集合体を取り扱う際には、摩擦力が発生する部位を通過させる時に、トルクレンチによる荷重管理が可能なジャッキ式の押し込み治具を用いることとしており、上部タイ・プレートを押し下げるような荷重

を加えることなくチャンネル・ボックスを装着することが可能となり、作業を通じてウォータ・ロッド等の燃料集合体内部に荷重がかかることがなくなった。

また、リーク制御板付きの燃料集合体に対しても、FPM の微速上昇、または、クレーンに吊った状態のチャンネル・ボックスの自重を利用してチャンネル・ボックスを装着するように標準的な手順を規定している。

更に、上記 2 つの燃料集合体のタイプのいずれに対しても、平成 10 年以降は、チャンネル・ボックスの装着状態の確認を、水中カメラを用いて確実に行うこととした。

(添付資料-15-3、15-4、15-5)

5.2 ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズム

ウォータ・ロッドの曲がりが発生する要因分析を実施し、照射成長に伴う要因と外力に伴う要因について調査した結果、平成 10 年の事象に伴う作業方法見直し前の手順では、水中でのチャンネル・ボックス装着作業時に発生する外力によってウォータ・ロッドに荷重が伝達する可能性が高いことを確認した。

すなわち、当該の作業方法によって水中でチャンネル・ボックスを装着すると、上部タイ・プレートに上方から十分大きな荷重が加えられ、エクспанション・スプリングが縮められて上部タイ・プレートが沈み込むことで、ウォータ・ロッドに対して過大な荷重が伝達されるメカニズムが働くことが想定され、その結果として、ウォータ・ロッドの曲がりが発生するものと推定できる。

このメカニズムについて、モックアップ試験及びチャンネル・ボックス装着履歴に着目した燃料集合体の外観点検によって妥当性を検証した。

5.2.1 モックアップ試験

モックアップ試験については、ウォータ・ロッドの上部及び下部細径部を模擬した単体モックアップ試験及び燃料集合体全長を模擬したモックアップ試験を実施し、以下の項目について評価を行った。

- ①ウォータ・ロッドに曲がりが発生する荷重
- ②平成 10 年以前の作業手順を模擬した場合のウォータ・ロッドに発生する荷重
(①の荷重と比較することによる推定メカニズムの検証)
- ③燃料集合体の構造上かかり得る最大の荷重がウォータ・ロッドに付加された場合の影響
- ④気中での装着作業手順や平成 10 年以降に採用された作業手順においてウォータ・ロッドに発生する荷重及びそれらの手順の妥当性

(添付資料-16)

5.2.1.1 単体モックアップ試験

ウォータ・ロッド上部及び下部の細径部を部分的に模擬したモックアップ試験を行い、静的荷重試験によってウォータ・ロッドに曲がりが発生する荷重を測定した。ジルコニウム合金の特性上、温度及び歪速度の変化により降伏応力が変化する。これに

伴い、曲がりが発生する荷重も変化するため、それらの影響を考慮し実機の条件において「曲がり発生荷重推定値」を求める方法を定めた。また、衝撃荷重試験の結果から、その推定方法の妥当性を確認した。

その結果、ウォータ・ロッドに曲がりが発生する可能性のある最小の荷重として、降伏応力の仕様下限値を用いた「曲がり発生荷重推定値」は通水孔のない上部で約 11 kN、通水孔のある下部で約 8 kN と評価された（最小の荷重を与える条件として、降伏応力については仕様下限値、環境温度については 40 °C を仮定）。

（添付資料-16-1）

5.2.1.2 全長模擬モックアップ試験

燃料集合体全長を模擬した試験体を用いて、平成 10 年以前の作業企業（東芝及び日立）が行っていた水中でのチャンネル・ボックス装着作業を再現し、ウォータ・ロッドにかかる荷重を測定した。

モックアップ試験の結果、当時の作業方法によって、ウォータ・ロッドに発生する最大の荷重は、東芝の作業方法及び日立の作業方法ともに 15 kN 程度であったと推定した。これは、単体モックアップ試験の結果より降伏応力の仕様下限値を用いて評価した「曲がり発生荷重推定値」よりも大きく、ウォータ・ロッドに曲がりが発生する可能性が確認された。従って、水中でのチャンネル・ボックス装着作業時に生じた荷重が、上部タイ・プレートを介してウォータ・ロッドに伝達し、それによってウォータ・ロッドの曲がりに至ったという推定メカニズムが妥当であることを確認した。

また、燃料集合体の構造上、下部タイ・プレートのストッパ部よりも下にはチャンネル・ボックス下端部が沈み込むことはないことに着目し、それらの部位が接触するまで作業荷重を増加させることによって、燃料集合体の構造上ウォータ・ロッドにかかり得る最大の荷重を付加した上で、その影響を確認した。その結果、ウォータ・ロッドの上部細径部の曲がりについては、実機と同様に、隣接する燃料棒を押し曲げ、その燃料棒がさらに別の燃料棒に接触していたが、その他の部材（スペーサ、結合燃料棒等）については、影響は確認されなかった。

さらに、気中でのチャンネル・ボックス装着手順や平成 10 年以降の手順について、ウォータ・ロッドに発生する荷重を測定したところ 1 kN 未満であり、降伏応力の仕様下限値を用いて評価した「曲がり発生荷重推定値」に比べて十分に小さいことを確認し、現行の手順が妥当であることを確認した。

（添付資料-16-2）

5.2.2 ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズムに影響を与える条件

モックアップ試験を通じて、「作業方法見直し前の手順によって水中でチャンネル・ボックスを装着した際にウォータ・ロッドの曲がりが発生した」という推定メカニズムが妥当であることを確認した。

ここでは、推定メカニズムに影響を与える条件について検討する。

5.2.2.1 製造プロジェクトにおける材料特性の分布

ウォータ・ロッドの材料特性は製造プロジェクト毎にジルコニウム合金管材仕様の範囲内で分布をもつ。5.2.1 章のモックアップ試験の評価においては、仕様下限値を用いて評価していたが、実機におけるウォータ・ロッドの曲がりが発生する可能性について評価するため、製造プロジェクトにおける材料の降伏応力の分布を考慮する。通水孔のある下部において、分布の平均値およびばらつきの 3σ を考慮した「曲がり発生荷重推定値」は、約 10.2 ± 0.7 kN であった。このことから、水中作業において、平成 10 年以前の作業手順で付加される荷重（15 kN 程度）の方が「曲がり発生荷重推定値」より大きく、ウォータ・ロッドの曲がりが発生する可能性が確認された。

(添付資料-17)

5.2.2.2 照射硬化

ウォータ・ロッドの材料であるジルコニウム合金は高速中性子の照射に伴う照射硬化によって降伏応力が増大する。降伏応力は照射の初期に急激に立ち上がり、高速中性子束 1×10^{20} n/cm² 程度の照射量で約 2 倍となり、その後緩やかに推移する。そのため、ある程度の期間、原子炉内で中性子照射を受けた燃料集合体については、モックアップ試験で求めた「曲がり発生荷重推定値」が約 2 倍になるものと推定され、当時の作業方法によってウォータ・ロッドに発生する最大の荷重を上回ることになる。従って、ある程度の期間、原子炉内で中性子照射を受けた燃料集合体に対して照射燃料体検査等で照射燃料時にチャンネル・ボックスを装着した場合は、ウォータ・ロッドの曲がりの発生する可能性は低いと言える。

以上より、当該事象は「「水中で」、「新燃料時に」、「平成 10 年以前の作業方法によってチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体」」に発生のある可能性があると見え、そのことは 5.2.3 章に示す燃料集合体の外観点検の結果に符合している。

なお、上記の考察における「照射燃料時」は、ウォータ・ロッドの照射硬化が十分に進展した状態を指しており、「原子炉内における使用期間がごく短い段階の照射燃料」（以下「低照射燃料」という）に対してチャンネル・ボックス装着作業を実施した場合には新燃料に近い特性を示すと考えられる。

(添付資料-17)

5.2.2.3 燃料タイプ別の上部タイ・プレートとの干渉の違い

当社において、「「水中で」、「新燃料時に」、「平成 10 年以前の作業方法によってチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体」」は、ウォータ・ロッドの曲がりの確認されている高燃焼度 8×8 燃料（JNF 製）以外に新型 8×8 燃料（JNF 製）と新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料（JNF 製及び原子燃料工業（NFI）製）がある。それぞれの燃料タイプについて上部タイ・プレートとウォータ・ロッドの取り合いの確認を行った結果、高燃焼度 8×8 燃料については、1 本のウォータ・ロッドが単独で荷重を受ける構造となっているが、その他の燃料タイプについては、弾性範囲で 2 本のウォータ・ロッドが荷重を受ける、または、ウォータ・ロッドと燃料棒が荷重を受ける

構造になっている。このため、作業により付加される荷重（15 kN 程度）がそれぞれの部材で分配され、個々の部材に加わる荷重は、最大の公差を考慮したとしても、おおよそ 9 kN 以下であり、通水孔の存在する側の製造プロジェクトの降伏応力の分布を考慮した「曲がり発生荷重推定値」の約 10.2 ± 0.7 kN を下回る。そのため、チャンネル・ボックス装着時に発生する荷重ではウォータ・ロッドが曲がる可能性は低いと判断できる。

従って、高燃焼度 8×8 燃料より前の燃料タイプについては、ウォータ・ロッドの曲がりが発生する可能性は低いと判断できる。

(添付資料-17)

【参考】

現在主に使用している 9×9 燃料（A 型）と 9×9 燃料（B 型）については、既に使用済燃料となっている先行照射燃料の一部を除き、水中でのチャンネル・ボックス装着作業は平成 10 年以降であることから、過去にウォータ・ロッドに過大な荷重が加わった可能性はない。なお、9×9 燃料（A 型）についてはウォータ・ロッド 2 本で荷重を受ける構造である。9×9 燃料（B 型）については、ウォータ・チャンネルが 1 本であるが、チャンネル・ボックス装着作業によって上部タイ・プレートが沈み込んだ場合、先にチャンネル・ボックス下端部が下部タイ・プレートのストッパ部に接触することから、ウォータ・チャンネルに荷重が付加されることはない。

5.2.3 チャンネル・ボックス装着履歴に着目した燃料集合体の外観点検

ウォータ・ロッドの曲がり事象と水中でのチャンネル・ボックス装着作業の関連性を確認する観点から、チャンネル・ボックス装着作業に着目して履歴を整理し、燃料集合体の外観点検を実施した。

ここでは、使用済燃料プール内の燃料集合体を対象としたサンプル点検と、原子炉内継続使用予定燃料を対象とした全数点検の結果を示す。

なお、福島第二原子力発電所においては、現時点で点検実施可能な 4 号機について使用済燃料プール内の燃料集合体を対象としたサンプル点検を実施した。

5.2.3.1 調査対象燃料及び点検計画

柏崎刈羽原子力発電所及び福島第二原子力発電所の各号機に存在する燃料集合体について、チャンネル・ボックスの装着状況等を取り纏めた結果を添付資料-18 に示す。使用済燃料プール内に保管中の燃料集合体のサンプル点検を行うにあたっては、チャンネル・ボックスの装着履歴に着目し、装着作業時の燃料の状態（新燃料／照射燃料）、装着作業時期（作業方法見直しの前／後）、フィンガスプリングの有無について以下のようなカテゴリ分類を行い、作業企業毎にそれらを母集団として抜き取りを行う調査計画を策定した。

カテゴリⅠ：新燃料時／作業方法見直し前／フィンガスプリング付き

カテゴリⅡ：新燃料時／作業方法見直し前／フィンガスプリングなし

カテゴリⅢ：新燃料時／作業方法見直し後／フィンガスプリング付き
カテゴリⅣ：新燃料時／作業方法見直し後／フィンガスプリングなし
カテゴリⅤ：照射燃料時／作業方法見直し前／フィンガスプリング付き
カテゴリⅥ：照射燃料時／作業方法見直し前／フィンガスプリングなし
カテゴリⅦ：照射燃料時／作業方法見直し後／フィンガスプリング付き
カテゴリⅧ：照射燃料時／作業方法見直し後／フィンガスプリングなし

計画に基づき、柏崎刈羽原子力発電所においては合計 246 体（1 号機 50 体、2 号機 28 体、3 号機 44 体、4 号機 32 体、5 号機 56 体、6 号機 21 体、7 号機 15 体）の外観点検を実施した。

なお、ここでは「照射燃料」をごく短期間でも原子炉内で使用した履歴を有する燃料集合体と定義している。柏崎刈羽原子力発電所 6 号機には、原子炉内での短期間の使用後にチャンネル・ボックス脱着を実施した照射燃料（低照射燃料）が存在する^{※5}。この燃料集合体は、原子炉内における使用期間がごく短いことから新燃料に近い特性を有する可能性がある。そのため、この燃料が属するカテゴリⅤのサンプル点検の対象 7 体とは別に、知見拡充を目的として 5 体全数の外観点検を実施した。

※5：営業運転開始前の試運転期間中（平成 8 年）に漏えい燃料が発生し、燃料取替を実施したために、チャンネル・ボックスを脱着して照射燃料体検査を実施したもの。

また、福島第二原子力発電所においては、4 号機について平成 10 年の作業方法見直し前に水中でチャンネル・ボックスを装着した 35 体の外観点検を実施した。

なお、原子炉内継続使用予定燃料については、水中でチャンネル・ボックスを装着（「脱着」含む）した履歴のある燃料集合体全数を対象として外観点検を実施した。

（添付資料-18、19）

5.2.3.2 使用済燃料プール内の燃料集合体を対象とした外観点検の結果

柏崎刈羽原子力発電所各号機及び福島第二原子力発電所 4 号機においてウォータ・ロッドの曲がり事象の調査を目的とした外観点検を行っており、表 5.2.3.2 に示す通り、合計 345 体中 26 体の燃料集合体のウォータ・ロッドに曲がりを確認した。なお、表 5.2.3.2 の点検数には、チャンネル・ボックス一部欠損事象の調査を目的とした外観点検も含んでいる。そのため、カテゴリⅠ～Ⅷの点検数について 5.2.3.1 章に示した点検計画よりも多くなっている。また、同調査ではカテゴリⅠ～Ⅷには含まれない「気中でチャンネル・ボックスを装着し、その後の脱着を行っていない燃料集合体」の外観点検も実施しており、その点検数を「気中」として記載している。

表 5.2.3.2 使用済燃料プール内の外観点検結果※6

カテゴリ	柏崎刈羽原子力発電所														福島第二 原子力発電所	
	1号機		2号機		3号機		4号機		5号機		6号機		7号機		4号機	
	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認	点検 数	異常 確認
I	14	6	4	2	4	0	4	0	24	18	対象 なし	－	対象 なし	－	14	0
II	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－	7	0
III	対象 なし	－	対象 なし	－	7	0	7	0	7	0	対象 なし	－	1	0	対象 なし	－
IV	対象 なし	－	対象 なし	－	7	0	対象 なし	－	7	0	対象 なし	－	対象 なし	－	対象 なし	－
V	14	0	7	0	7	0	7	0	7	0	12※7	0	対象 なし	－	7	0
VI	7	0	3	0	4	0	対象 なし	－	7	0	対象 なし	－	対象 なし	－	7	0
VII	8	0	7	0	8	0	7	0	7	0	7	0	7	0	0	－
VIII	7	0	7	0	7	0	7	0	10	0	7	0	8	0	0	－
気中	0	－	2	0	0	－	0	－	16	0	6	0	21	0	0	－
合 計	50	6	30	2	44	0	32	0	85	18	32	0	37	0	35	0

※6：柏崎刈羽原子力発電所 2 号機、3 号機及び 4 号機については、現在、全ての燃料集合体
が使用済燃料プールに保管されているが、継続使用予定燃料についてはこの表中の点検
数には含めず、表 5.2.3.3 に記載した。

※7：原子炉内での短期間の使用後にチャンネル・ボックス脱着を実施した照射燃料（低照射
燃料）5 体を含む。

（添付資料-20）

5.2.3.3 原子炉内継続使用予定燃料を対象とした外観点検の結果

柏崎刈羽原子力発電所の各号機において実施している、原子炉内での継続使用を予
定している燃料集合体のうち、水中作業でチャンネル・ボックスを装着（「脱着」含
む）した履歴のある燃料集合体全数を対象とした外観点検の計画と実績について示す。

表 5.2.3.3 に示す通り、柏崎刈羽原子力発電所各号機の外観点検を実施しており、
燃料集合体に異常は確認していない。

なお、原子炉内での継続使用を予定している燃料集合体のうち、水中作業でチャ
ンネル・ボックスを装着（「着脱」含む）した履歴のあるものは、いずれも作業方法見
直し後に作業を行ったものである。

表 5.2.3.3 柏崎刈羽原子力発電所における継続使用予定燃料の外観点検結果※8

号 機	外観点検 対象数	再使用 CB を 新燃料時に装着 (対応カテゴリ)	点検等のため 水中で脱着※11 (対応カテゴリ)	外観点検 実施数	異常 確認
1 号機	30	0	30 (Ⅳ：20、Ⅷ：10)	30	0
2 号機	(51)※9	0	51 (Ⅶ：7、Ⅷ：44)	51	0
3 号機	(21)※9	7※10 (Ⅳ：7)	14 (Ⅷ：14)	21	0
4 号機	(32)※9	0	32 (Ⅷ：32)	32	0
5 号機	14	0	14 (Ⅳ：10、Ⅷ：4)	14	0
6 号機	16	0	16 (Ⅳ：10、Ⅷ：6)	16	0
7 号機	23	0	23 (Ⅷ：23)	23	0
合計	187	7 (Ⅳ：7)	180 (Ⅳ：40、Ⅶ：7、Ⅷ：133)	187	0

※8：この他に、気中でチャンネル・ボックスを装着し、その後の脱着を行っていない燃料集合体を合計 71 体（1 号機 6 体、2 号機 8 体、5 号機 17 体、6 号機 28 体、7 号機 12 体）外観点検し、異常のないことを確認している。

※9：2 号機、3 号機及び 4 号機は炉心設計が未確定であるため、表中に示した体数は現時点での外観点検対象数（計画体数）であり、計画体数に変更になり未点検の燃料がある場合は、未点検の燃料について点検を実施する。なお、これらの号機では、継続使用予定の燃料集合体全数が使用済燃料プールに保管中であるが、これらは使用済燃料を対象とする添付資料-20 の外観点検の母集団には含めていない。

※10：新燃料時に水中にて再使用チャンネル・ボックス（CB）を装着した 7 体（NFI 製高燃焼度 8×8 燃料、作業時期は作業方法見直し後（平成 10 年以降））のうち、3 体は照射燃料時の点検等のためのチャンネル・ボックスの脱着も経験している。

※11：点検等のために水中でチャンネル・ボックスの脱着を行った燃料集合体（いずれも作業時期は作業方法見直し後（平成 10 年以降））には、新潟県中越沖地震後の設備健全性確認の対象として新燃料時に外観点検（チャンネル・ボックス脱着）を行った燃料集合体も含む（1 号機 20 体、5 号機 10 体、6 号機 10 体）。

5.2.3.4 外観点検結果まとめ

柏崎刈羽原子力発電所各号機及び福島第二原子力発電所 4 号機において実施している燃料集合体外観点検のカテゴリ毎の合計値を表 5.2.3.4-1 及び表 5.2.3.4-2 に示す。

表 5.2.3.4-1 柏崎刈羽原子力発電所点検結果

新燃料時の 装着方法	照射燃料時の 水中脱着の有無	装着（脱着） 作業実施時期	外観点検実施数※12	異常 確認	カテゴリ
水中	—	見直し前	50 体	26 体	I、II
		見直し後	83 体※13	0 体	III、IV
気中	あり	見直し前	75 体	0 体	V、VI
		見直し後	244 体	0 体	VII、VIII
	なし	—	116 体	0 体	—

表 5.2.3.4-2 福島第二原子力発電所 4 号機点検結果

新燃料時の 装着方法	照射燃料時の 水中脱着の有無	装着（脱着） 作業実施時期	外観点検実施数※12	異常 確認	カテゴリ
水中	—	見直し前	21 体	0 体	I、II
		見直し後	0 体	0 体	III、IV
気中	あり	見直し前	14 体	0 体	V、VI
		見直し後	0 体	0 体	VII、VIII
	なし	—	0 体	0 体	—

※12：実施数には、チャンネル・ボックス一部欠損事象の調査を目的とした外観点検を含む。

この他に、今後柏崎刈羽原子力発電所 3 号機において同調査を継続して実施する予定である。（使用済燃料プール分は 18 体、継続装荷予定燃料は体数未定。）

※13：気中での取り付け後、新潟県中越沖地震後の設備健全性確認の対象として新燃料のまま外観点検（チャンネル・ボックス脱着）を行った 40 体を含む。

柏崎刈羽原子力発電所においてウォータ・ロッドの曲がりを確認したのは、全て平成 10 年の作業方法見直し前に新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着したカテゴリ I の燃料集合体であり、50 体中 26 体に曲がりを確認している。

一方、照射燃料時にチャンネル・ボックスを水中で脱着した燃料集合体や、作業方法見直し後に新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体に異常は確認されていない。

また、新燃料時に気中でチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体は、照射燃料時にチャンネル・ボックスを脱着したカテゴリ V～VIII 等も合わせて合計 489 体を点検しているが、いずれも異常は確認されていない。

なお、モックアップ試験等の結果から改めてカテゴリと不良率を整理した結果、「照射燃料時」や「平成 10 年の作業方法見直し後」、もしくは「気中」でチャンネル・ボックスを装着した燃料については、5%程度の低い不良率の不具合を 99%検知可能であることを確認した。

（添付資料-19）

平成 10 年の作業方法見直し前に新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料（カテゴリⅠ、Ⅱ）について、燃料タイプの違いがウォータ・ロッドの曲がり事象に与える影響を確認する観点から、燃料タイプ毎の点検結果を表 5.2.3.4-3 に示す。なお、柏崎刈羽原子力発電所には、カテゴリⅡの対象となる燃料はない。

表 5.2.3.4-3 燃料タイプ毎の点検結果

カテゴリ	燃料タイプ	メーカー	プラント※14	母集団	点検数	
					実施	異常
Ⅰ	高燃焼度 8×8 燃料	JNF	KK1	70	7	6
			KK2	4	4	2
			KK3	4	4	0
			KK4	4	4	0
			KK5	249	23	18
	新型 8×8 ジルコニウムライ 燃料	JNF	KK1	198	7	0
			KK5	4	1	0
			2F4	86	14	0
Ⅱ	新型 8×8 ジルコニウムライ 燃料	NFI	2F4	8	7	0

※14：KK__は柏崎刈羽原子力発電所__号機を、2F__は福島第二原子力発電所__号機を示す。

JNF 製高燃焼度 8×8 燃料は 42 体中 26 体にウォータ・ロッドの曲がりを確認しているが、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料は JNF 製と NFI 製を合わせて 29 体の点検を実施して異常は確認されていない。この結果は、モックアップ試験（5.2.1 章）の結果及び燃料タイプ別の上部タイ・プレートとの干渉の違い（5.2.2.3 章）の内容と一致する。

なお、福島第二原子力発電所 1 号機から 3 号機については、燃料取替機や天井クレーンの復旧及び健全性確認等を計画的に進めているところであり、柏崎刈羽原子力発電所各号機及び福島第二原子力発電所 4 号機で実施した外観点検の結果を踏まえ、知見拡充のため（作業企業（プラントメーカー）の相違による福島第二原子力発電所における事象の発生状況の確認のため）に、1 号機において自主点検を今後計画することとする。

また、福島第一原子力発電所の各号機については、現時点において冷温停止状態を維持することを最優先としており、燃料集合体の外観点検を実施していない。なお、現在調査している範囲内において、柏崎刈羽原子力発電所においてウォータ・ロッド

の曲がりを確認した燃料と同じ取扱履歴（水中において新燃料時にチャンネル・ボックスを装着）の燃料は確認されていない（MOX 燃料を除く）。

5.3 原因調査結果まとめ

(1) 要因分析に基づく推定メカニズムの調査（5.1 章）

要因分析に基づき、照射成長に伴う要因及び外力に伴う要因について調査した結果、外力に伴う要因として、平成 10 年の作業方法見直し前における水中でのチャンネル・ボックス装着作業時に発生する外力によって、ウォータ・ロッドに荷重が伝達するというメカニズムが推定された。

(2) 推定メカニズムの検証（5.2 章）

モックアップ試験及び燃料集合体外観点検の結果を通じて、要因分析に基づく推定メカニズムが妥当なものであることを検証した。また、ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズムに影響を与える条件を確認し、照射燃料（低照射燃料除く）や高燃焼度 8×8 燃料以前の燃料タイプにおいては、ウォータ・ロッドの曲がりが発生する可能性が低いことを確認した。

① モックアップ試験

ウォータ・ロッド上部及び下部の細径部を部分的に模擬した単体モックアップ試験によってウォータ・ロッドの曲がりが生じる荷重を確認するとともに、燃料集合体全長を模擬したモックアップ試験によって、水中でチャンネル・ボックスを装着する作業によって生じる荷重がウォータ・ロッドの曲がりを生じさせる荷重を超えることを確認した。

② 推定メカニズムに影響を与える条件

推定メカニズムに影響を与える条件として、照射硬化及び燃料タイプ別の上部タイ・プレートとの干渉の違いを調査した結果、ウォータ・ロッドの曲がり事象は、「水中で」、「新燃料時に」、「平成 10 年以前の作業方法によってチャンネル・ボックスを装着した」「高燃焼度 8×8 燃料」に発生する可能性があり、これらの条件を 1 つでも満たさない場合には発生する可能性が低いことを確認した。なお、原子炉内における使用期間がごく短い照射燃料については、新燃料に近い特性を示すと考えられる。

③ 燃料集合体外観点検

チャンネル・ボックス装着履歴に着目した燃料集合体の外観点検を実施し、平成 10 年の作業方法見直し前に、当時の手順によって新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した高燃焼度 8×8 燃料のみウォータ・ロッドの曲がりが発生していることを確認した。

(3) チャンネル・ボックス装着作業に起因して発生する他の不具合の可能性

チャンネル・ボックス装着作業によってこれまでに影響が確認されているウォータ・ロッド、スパーサ（特に「架橋板」）及び燃料棒以外の部材について、不具合の発生可能性を検討した。

チャンネル・ボックスの装着作業により上部から過大な荷重が加えられると、燃料集合体の各部材にその荷重が伝達されるが、これまでに不具合が確認されたウォータ・ロッド、スパーサ及び燃料棒以外の部材については、以下に示す通り、不具合が発生する可能性は低いと考える。

- ・作業上想定される最大の荷重を加えた全長モックアップ試験に用いた試験体を分解し、各部材への影響を確認したが、ウォータ・ロッド及びウォータ・ロッドと接触した燃料棒以外の部材に不具合は確認されていない。
- ・燃料集合体外観点検で確認可能な範囲において、ウォータ・ロッド、スパーサ及び燃料棒以外の部材に関して、チャンネル・ボックス装着作業に起因するような不具合は現時点で確認されていない。

（添付資料-21）

6. 推定原因

以上の調査結果から、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機、2 号機及び 5 号機において確認されたウォータ・ロッドの曲がり、平成 10 年の作業方法見直し前に、当時の手順を用いて新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着する作業を行ったことにより、過大な荷重が上部タイ・プレートを介してウォータ・ロッドに付加され、その荷重がウォータ・ロッドに曲がりが発生する荷重を上回ったことによって発生したものと考えられる。

7. 平成 10 年の不具合の対策の有効性

燃料集合体に水中でチャンネル・ボックスを装着する作業に関しては、平成 10 年に確認した燃料集合体（スパーサ）の不具合の対策として以下を実施するとともに、作業員及び当社監理員に対して燃料取扱に関する再教育を行っている。

- ① 燃料集合体に過大な荷重をかけないような標準的な手順を規定。（フィンガスプリング付きの燃料集合体に対しては荷重を管理できる治具を使用し、リーク制御板付きの燃料集合体に対しては FPM の微速上昇、または、クレーンに吊った状態のチャンネル・ボックスの自重を利用して、チャンネル・ボックスの装着を実施）
- ② 水中テレビカメラを使用して装着状態を確認しながらチャンネル・ボックス装着作業を実施することを規定。

モックアップ試験を通じて、平成 10 年以降の作業方法ではウォータ・ロッドに過大な荷重がかからないことを確認していること、外観点検において、平成 10 年の作

業方法見直し後に水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体を 327 体点検し、異常が確認されていないことから、これらの対策は有効であったと言える。

なお、平成 10 年のスペーサずれ事象の原因と対策については、当時、他の電気事業者とも共有し、水平展開を図るとともに、その後原子力施設情報公開ライブラリー（「ニューシア」）の運用開始以降は、本事象についても必要な情報を登録し、情報共有に努めている。

8. 炉心特性等への影響

本事象においては、ウォータ・ロッド上部及び下部の細径部に曲がりを確認するとともに、ウォータ・ロッド上部の細径部が曲がったことに伴って、それにつながる太径部にも径方向の位置ずれが発生したことを確認している。また、ファイバースコープ点検の結果からは、下部の通水孔が一部狭くなっている様子が確認されている。

当該事象は柏崎刈羽原子力発電所 1 号機、2 号機及び 5 号機で確認されているが、ウォータ・ロッドの曲がり確認された高燃焼度 8×8 燃料は、これらの号機で同一設計であることから、ウォータ・ロッドの曲がり最も顕著であった 5 号機を代表として、本事象が定常状態における炉心特性等に及ぼす影響について解析コードを用いて評価した。評価においては、本事象が燃料集合体の局所の核特性へ及ぼす影響の有無を確認した上で、平衡炉心を対象として停止余裕等の炉心特性への影響を確認した。なお、これまで得られた観察結果からは燃料棒同士が接触していることも確認しているが、接触している部位は燃料ペレットが存在しない領域であり、発熱部ではなく、除熱を考慮する必要がないため、限界出力等への影響はない。

8.1 燃料集合体の局所の核特性への影響

ウォータ・ロッドの太径部（上部側）が径方向にずれることによる燃料集合体の局所の核特性への影響を評価したところ、保守的にスペーサによる拘束を考慮せず、ずれる量を大きく見込んだ場合を仮定しても、燃料集合体上部断面の無限増倍率の変化量は、モンテカルロ燃焼計算の統計的なばらつきの範囲であった。

また、ウォータ・ロッドの太径部（上部側）が燃料棒に近接することによる燃料集合体の局所出力ピーキング係数への影響については、上記と同様な保守的な仮定を置いても、燃料集合体上部断面の局所出力ピーキング係数の最大値の変化量で 0.02 程度であった。実際にはスペーサに拘束されていることから、現実的な変位量は上記の仮定よりも小さく、それを考慮すると影響はさらに小さくなる。また、燃料集合体上部は出力が相対的に低いことから、局所出力ピーキング係数への影響は無視できると言える。

さらに、ウォータ・ロッドの下部細径部に設けられた通水孔が閉塞した場合のウォータ・ロッド内部におけるボイドの発生の有無について評価したところ、ウォータ・ロッドの通水孔（合計 12 個）のうち 7 個が完全閉塞した場合においても、ウォータ・ロッド内部でボイドは発生しない結果となった。これまでのファイバースコープ点検

において確認したウォータ・ロッドの通水孔の形状変化は最大でも 6 個と評価しているが、保守的に通水孔 6 個が完全に閉塞したと仮定しても、ウォータ・ロッド内でボイドは発生せず、中性子減速効果にはほとんど影響を与えない。

以上より、ウォータ・ロッドの曲がり及び通水孔の閉塞について評価した結果、それらが燃料集合体の局所の核特性へ及ぼす影響は無視できると言える。

8.2 炉心特性への影響

ウォータ・ロッドの下部細径部に設けられた通水孔の閉塞によってウォータ・ロッド内部を流れる冷却材の流量が減少した場合、インチャンネル（チャンネル・ボックスの内側のうち、ウォータ・ロッド内部を除く領域）への冷却材流量が増加する。合計で 12 個ある通水孔のうち、保守的にその半数に当たる 6 個分が完全に閉塞した状態の燃料集合体（ウォータ・ロッド部分閉塞燃料）が炉心全体に装荷された場合の炉心特性解析を実施した結果、最大線出力密度（MLHGR）、最小限界出力比（MCPR）、燃料集合体最高燃焼度、停止余裕への影響は小さいと評価した。

出力分布、燃焼度分布、炉心の径方向出力ピーキング及び軸方向出力ピーキングへの影響も小さいものの、ウォータ・ロッド部分閉塞燃料を全数装荷した炉心では、炉心平均ボイド率が 0.2%程度減少し、減速材ボイド係数の絶対値が小さくなることから、安全解析への影響を評価した。

（添付資料-22）

9. 安全解析への影響

9.1 安全解析等への影響評価項目

ウォータ・ロッドの曲がりによる燃料集合体の局所の核特性や炉心特性への影響を踏まえ、安全解析への影響を整理した。評価検討が必要な項目を表 9.1 に示す。

なお、安全解析への影響は柏崎刈羽原子力発電所 5 号機を代表として評価することとした。

表 9.1 安全解析等への影響の整理

評価検討項目		影響
機械設計	燃料被覆管応力設計比	燃料棒の曲がりの影響
	燃料被覆管疲労評価	
炉心特性、 反応度係数	炉心特性、反応度係数	インチャンネル流量増加、 ボイド率減少の影響
	スクラム反応度	
	熱水力上の燃料の許容設計限界	
動特性	核熱水力安定性	
	プラント安定性	
	キセノン安定性	
運転時の 異常な 過渡変化	起動時における制御棒引抜き	
	出力運転中の制御棒引抜き	
	プラント過渡	
事故解析	再循環ポンプ軸固着事故	
	原子炉冷却材喪失	
	主蒸気管破断	
	制御棒落下	

9.2 燃料の機械設計への影響

(1) 燃料被覆管の応力設計比

燃料被覆管の最大応力設計比を表 9.2 に示す。ウォータ・ロッドの曲がりに伴って燃料棒に強制変位が加えられた影響によって、現行評価に対して燃料被覆管の応力設計比は最大で 0.56 大きくなった。しかし、燃料被覆管の応力設計比は寿命を通して 1 より小さく、ウォータ・ロッドの曲がりに伴って燃料被覆管が強制変位した場合でも燃料被覆管の健全性は維持している。

表 9.2 被覆管最大応力設計比（スペーサ間）

	燃料棒の曲がりを考慮		現行評価	
	定格出力状態	過渡状態※15	定格出力状態	過渡状態
寿命初期	0.77	0.79	0.36	0.44
寿命中期	0.77	0.80	0.21	0.25※16
寿命末期	0.74	0.76	0.19	0.26※16

※15: 圧力過渡時の値。プレナム領域に燃料は存在しないため、出力過渡は考慮しない。

※16: 出力過渡時の値。なお、寿命初期は圧力過渡時の値である。

(2) 燃料被覆管の疲労評価

ウォータ・ロッドの曲がりに伴って燃料被覆管に強制変位が加えられた場合でも、燃料体設計認可時の下部端栓部における疲れ累積係数の評価値を超えることはない。燃料体設計認可時の下部端栓部における疲れ累積係数は 0.01 未満であり、許容限界値である 1.0 に対して十分余裕があることから、疲労評価に対する影響はない。

なお、ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体の原子炉内での使用期間を通じて、放射性物質の漏えいは確認されておらず、ウォータ・ロッドの曲がりに伴って燃料被覆管に強制変位が加えられていても、燃料被覆管の健全性は維持されていた。

9.3 炉心特性、反応度係数への影響

(1) 炉心特性、反応度係数

8 章に示す通り、ウォータ・ロッドの曲がりが燃料集合体の局所の核特性へ及ぼす影響は無視できる程度であり、また、炉心の出力分布、燃焼度分布にもほとんど影響がない。炉心特性に関する評価結果のまとめを表 9.3-1 に示す。

表 9.3-1 炉心特性評価結果のまとめ

	最大影響量*	備考
炉心平均ボイド率(%)	-0.5	わずかに減少する (差分で-0.2%)
MLHGR(%)	+0.07	影響は無視できる
MCPR(%)	+0.3	わずかに緩和する方向
最大価値制御棒 1 本 引き抜き時の実効増倍率(%)	-0.009	影響は無視できる
径方向ピーキング(%)	+0.03	影響は無視できる
軸方向ピーキング(%)	+0.04	影響は無視できる
燃料集合体最高燃焼度(%)	-0.004	影響は無視できる
出力反応度係数(%)	-0.2	わずかに減少する (差分で-0.0001 ($\Delta k/k$)/($\Delta p/p$))

* : 相対値(WR 部分閉塞燃料/正常燃料-1) [%]

炉心特性評価では、炉心平均ボイド率が小さくなることが示されたが、その程度が小さいことから、影響をより詳細に評価するために燃料集合体格子計算ベースでの感度評価を行った。

高燃焼度 8×8 燃料の中央部断面について、ボイド率が 0.2%分低下することでボイド履歴に相違が生じることによる燃料集合体特性への影響を表 9.3-2～表 9.3-4 に示す。運転時においては減速材ボイド係数について、絶対値で 0.2～0.3%小さくなる影響があるものの、その他のパラメータに対しての影響はないと言える。一方、低温時及び高温待機時については、ボイドが発生しておらず、燃焼履歴の影響のみである

ことから、運転時よりもさらに影響は小さくなっている。

減速材ボイド係数についても、燃料集合体の核特性、炉心の出力分布、燃焼度分布への影響は無視できることから、ボイド率依存性は設置変更許可申請書記載の図とは変わらない。しかし、初期状態のボイド率が小さくなることから、安全解析への影響としては減速材ボイド係数の絶対値が小さくなることを考慮する。

表 9.3-2 ボイド履歴の相違による燃料集合体核特性への影響（運転時）

	サイクル初期相当*	サイクル末期相当*
無限増倍率(%)	+0.009	+0.003
局所出力ピーキング係数(%)	燃料寿命を通じて 0.01%未満の増加	
ボイド係数(%)	-0.22	-0.28
ドップラ係数(%)	-0.07	-0.07
制御棒価値(%)	-0.07	-0.07
遅発中性子割合(%)	-0.004	-0.005
平均中性子寿命(%)	+0.05	+0.06
熱中性子束(%)	+0.05	+0.07

*：相対値(WR 部分閉塞燃料／正常燃料-1) [%]

表 9.3-3 ボイド履歴の相違による燃料集合体核特性への影響（低温時）

	サイクル初期相当*	サイクル末期相当*
無限増倍率(%)	-0.006	-0.016
ほう酸注入時無限増倍率(%)	-0.007	-0.017
局所ピーキング係数(%)	燃料寿命を通じて 0.007%未満の増加	
制御棒価値(%)	+0.004	+0.007
ドップラ係数(%)	-0.003	+0.002

*：相対値(WR 部分閉塞燃料／正常燃料-1) [%]

表 9.3-4 ボイド履歴の相違による燃料集合体核特性への影響（高温待機時）

	サイクル初期相当*	サイクル末期相当*
ドップラ係数(%)	-0.004	-0.007
減速材温度係数(%)	+0.004	+0.037

*：相対値(WR 部分閉塞燃料／正常燃料-1) [%]

(2) スクラム反応度

ウォータ・ロッドの曲がりによる軸方向出力分布への影響はほとんどないことから、スクラム反応度曲線についても影響はないと言える。従って、ウォータ・ロッドの曲がりが生じた場合でも、運転時の異常な過渡変化解析で用いる設計用スクラム反応度

曲線は満足している。

(3) 熱水力上の燃料の許容設計限界

熱水力上の燃料の許容設計限界である SLMCPR の評価においては、MCPR に近い CPR（限界出力比）を持つ燃料の数が多い炉心状態ほど、沸騰遷移を起こす燃料棒本数割合が高くなり SLMCPR は厳しくなる。

炉心特性評価に示す通り、ウォータ・ロッドの曲がりによる MCPR への影響は小さく、ウォータ・ロッド部分閉塞燃料を装荷した炉心の CPR は健全な燃料集合体を装荷した炉心とほぼ同等である。従って、SLMCPR についても影響はない。

9.4 動特性への影響

(1) 核熱水力安定性

ウォータ・ロッドの曲がりによって、燃料集合体のインチャンネル流量が大きくなり、減速材ボイド係数の絶対値は小さくなることから、現行の解析条件に包絡されていると言える。従って、核熱水力安定性（チャンネル水力学的安定性、炉心安定性）への影響はない。

(2) プラント安定性

ウォータ・ロッドの曲がりによって、燃料集合体のインチャンネル流量が大きくなり、減速材ボイド係数の絶対値は小さくなることから、現行の解析条件に包絡されていると言える。従って、プラント安定性への影響はない。

(3) キセノン空間振動の安定性

ウォータ・ロッド部分閉塞燃料を装荷した炉心においても、キセノン空間振動に影響する運転時の熱中性子束、炉心の出力分布はほとんど変わらない。出力反応度係数はサイクル初期では 0.2% 程度絶対値が小さくなる方向であるが、出力反応度係数に対する余裕は大きく、キセノン空間振動を十分抑制することができる。

9.5 運転時の異常な過渡変化への影響

(1) 起動時における制御棒引抜き

原子炉起動時はボイドが発生していない状況であるため、履歴ボイドの影響のみとなる。その場合は運転中よりもさらに影響が小さくなるため、燃料棒温度係数、出力分布への影響はなく、さらに出力分布に影響される引抜き制御棒反応度曲線、スクラム反応度曲線への影響も無視できることから、ウォータ・ロッドの曲がりによる本事象への影響はない。

(2) 出力運転中の制御棒引抜き

炉心特性解析に示す通り、MLHGR、MCPR への影響はほとんどないことを確認している。また、出力運転中の制御棒引抜き解析では、原子炉は熱的に設計限界の状態

(MCPR 及び MLHGR はそれぞれ 1.23 及び 44 kW/m) として保守的に評価していることから、ウォータ・ロッドの曲がりによる本事象への影響はない。

(3) プラント過渡

プラント過渡に関してウォータ・ロッドの曲がりに伴い考慮すべき影響は、通水孔の部分閉塞に起因して減速材ボイド係数の絶対値が小さくなることである。その影響は、圧力上昇によりボイドが潰れて正の反応度が印加される事象においては、事象が緩和する方向となって表れる。

逆に炉心流量が減少してボイドが増加する事象に対しては、ボイドが増加することによる負の反応度が投入されることになるが、減速材ボイド係数の絶対値が小さくなることによって、負の反応度の投入量が小さくなり、出力が低下しにくくなる傾向がある。これらの事象は、流量急減事故である再循環ポンプの軸固着解析（事故解析）により包絡される。再循環ポンプ軸固着解析については、9.6 章の「(1) 再循環ポンプ軸固着事故」にて確認しており、ウォータ・ロッドの曲がりによる本事象への影響はないことから、運転時の異常な過渡変化解析のうち、炉心流量が減少してボイドが増加する事象に対しても影響はないと言える。

運転中の MCPR 制限値を決定する事象となっている給水加熱喪失は、その重要性に鑑み、運転制限値への影響がないことを確認する観点から評価した。ウォータ・ロッドの曲がりを考慮した場合でも Δ MCPR は 0.16 と変わらず、MCPR に関する運転制限値に影響はない。

9.6 事故解析への影響

(1) 再循環ポンプ軸固着事故

ウォータ・ロッドの曲がりの影響を考慮した場合でも、 Δ MCPR の最大値は 0.12、原子炉圧力の最大値は 7.05 MPa[gage]となり、健全な燃料集合体を装荷した炉心の解析結果と同等である。従って、ウォータ・ロッドの曲がりを考慮した場合でも、再循環ポンプ軸固着事故解析への影響はない。

(2) 原子炉冷却材喪失

中小破断事故解析での健全な燃料集合体を装荷した炉心での燃料被覆管最高温度 (PCT) は約 525℃である。ウォータ・ロッドの曲がりを考慮した場合でも、この値を超えることはなく、中小破断事故解析への影響はない。

大破断事故解析に関しては、健全な燃料集合体を装荷した炉心では、事故発生の約 1 秒後に沸騰遷移が発生し、PCT は約 512℃となった。ウォータ・ロッドの曲がりを考慮した場合でも、この値を超えることはなく、ウォータ・ロッドの曲がりによる大破断事故解析への影響はない。

(3) 主蒸気管破断

本事故では、主蒸気管が破断することによって冷却材が一時的に流出するものの、主蒸

気隔離弁閉止及び原子炉スクラムにより、炉心が露出することはない。ウォータ・ロッドの曲がりを考慮した場合でも、主蒸気の流出量は変わらず、事故期間を通じて沸騰遷移が発生することはない。従って、ウォータ・ロッドの曲がりによる主蒸気管破断への影響はない。

(4) 制御棒落下

ウォータ・ロッドの曲がりによる軸方向燃焼度分布及び軸方向出力分布への影響はほとんどなく、無限増倍率、ドップラ係数、制御棒価値等、燃料集合体の特性への影響は無視できるため、制御棒落下事故解析に影響を与えるドップラ係数、落下制御棒曲線、スクラム反応度曲線への影響はないと言えることから、制御棒落下時の出力上昇量への影響はない。

また、燃料棒の除熱評価に影響する燃料集合体のインチャンネル流量はウォータ・ロッドの通水孔の部分閉塞によりわずかに増加する方向となる。その影響により、燃料エンタルピは低下する方向となるため、ウォータ・ロッドの通水孔の部分閉塞による影響は、健全な燃料集合体を装荷した炉心における燃料エンタルピ評価の範囲にあると言える。

第7スペーサ下側の濃縮ウランが装填された部位において、保守的にスペーサによる拘束を無視してウォータ・ロッドが燃料棒に接触する程度まで位置ずれした場合を考えると、運転状態でのウォータ・ロッド隣接燃料棒の局所出力は、最大2%程度増加する結果となっている。冷温または高温待機状態は非沸騰水で満たされた状態であるので、ボイドのある運転状態に比べて影響は小さいと考えられるが、保守的に局所出力が2%程度増加するものと考えても、表9.6に示すように局所出力ピーキング係数の解析使用値に対して余裕がある。

以上よりウォータ・ロッドの曲がりによる制御棒落下解析への影響はない。

表 9.6 制御棒落下解析における局所出力ピーキング係数の比較

	サイクル初期		サイクル末期	
	上部断面*	安全解析 入力値	上部断面*	安全解析 入力値
低温時	1.27	1.34	1.09	1.18
高温待機時	1.23	1.29	1.06	1.14

* 第7スペーサ下部（21～23ノード）の燃料集合体断面

9.7 安全解析への影響評価結果まとめ

ウォータ・ロッドの曲がりに伴う、燃料集合体の局所の核特性及び炉心特性への影響を踏まえ、安全解析への影響評価を行った。運転時の異常な過渡変化の解析への影響や事故解析等の解析結果への影響はいずれも小さく、安全解析への影響はないことを確認した。

ウォータ・ロッドの曲がりには柏崎刈羽原子力発電所5号機の他に柏崎刈羽原子力発

電所 1 号機及び 2 号機の高燃焼度 8×8 燃料でも確認されているが、安全解析の影響評価を実施した柏崎刈羽原子力発電所 5 号機と同一設計の燃料集合体であり、燃料の機械設計、炉心特性、反応度係数への影響は 5 号機と同一であることから、安全解析への影響は 5 号機と同等となる。

(添付資料-23)

10. ウォータ・ロッドの曲がりが発生しこれまで発見に至らなかった経緯

これまで、ウォータ・ロッドの曲がりが発生する要因について調査し、メカニズムを検証した結果、平成 10 年の作業方法見直し前に、当時の手順によって新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した際に過大な荷重がかかったことが原因であると考えている。また、水中でのチャンネル・ボックス装着作業は平成 10 年に対策を実施しており、7 章の通り、対策の有効性を確認した。

ここでは、平成 10 年以前に過大な荷重がかかる作業を実施していた経緯と、これまで発見に至らなかった経緯について考察する。

10.1 平成 10 年に確認した燃料集合体（スぺーサ）の不具合の概要及び当時ウォータ・ロッドの曲がり事象の発見に至らなかった経緯

10.1.1 事象の概要

平成 10 年に確認した「柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 燃料集合体の不具合」は、定期検査時の照射燃料体検査のためのチャンネル・ボックス脱着を行った際に、NFI 製高燃焼度 8×8 燃料のスぺーサを構成する架橋板が一部破損し、スぺーサが正規の位置からずれた事象である。

今回のウォータ・ロッドの曲がり事象と同じく、水中でのチャンネル・ボックス装着作業時に過大な荷重がかかったことが原因であり、破損した部位が異なる理由は、両事象が発生した時点における燃料集合体の状態（新燃料時または照射燃料時）の差異に起因するものである。照射燃料時はウォータ・ロッドが浮き上がり、ウォータ・ロッドのタブがスぺーサの架橋板に接触しているため架橋板の破損が発生したのに対し、新燃料時はウォータ・ロッドが下部タイ・プレートに着座しているため、ウォータ・ロッド自身が荷重を吸収し、ウォータ・ロッドの曲がりが発生したものと推定している。

10.1.2 当時ウォータ・ロッドの曲がり事象の発見に至らなかった経緯

(1) 当時の調査状況

当時実施したモックアップ等の調査の結果、照射燃料時の水中でのチャンネル・ボックス装着作業によって過大な荷重がかかった場合、NFI 製の燃料集合体はリーク制御板を採用しており、装着作業時に摩擦力が発生しないため、加えられた荷重がほとんど減衰しないこと、それに加えて、架橋板の溶接部の強度が JNF 製と比較して低いことが相まって、スぺーサの架橋板に破損が生じ、それが起因となってスぺーサず

れが発生したことが判明した。

(2) 燃料点検状況

スペーサズれ事象が発生した柏崎刈羽原子力発電所 1 号機において合計 106 体（NFI 製 80 体、JNF 製 26 体）の点検を実施した。また、当時停止中であった他のプラントにおいても、福島第一原子力発電所 4 号機、福島第二原子力発電所 1 号機、柏崎刈羽原子力発電所 5 号機において、合計 86 体（NFI 製 66 体、JNF 製 18 体、他 2 体）の点検を実施した。

しかしながら、スペーサズれを起こした NFI 製を中心に点検したこと、スペーサズれが照射燃料時のチャンネル・ボックス装着作業に起因すると考えられたため、照射燃料体検査等を経験した燃料を中心に点検したことにより、点検対象に新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料が含まなかったことから、ウォータ・ロッドの曲がりまで発見することができなかった。

当時の調査状況を再確認したところ、当時はスペーサズれの調査に注力しており、仮に新燃料に過大な荷重がかかった場合でも、新燃料の状態ではウォータ・ロッドの浮き上がりがなく、ウォータ・ロッドのタブとスペーサの架橋板が接していない状態のため、スペーサズれは起きないというメカニズムとの理解をしていた。このため、ウォータ・ロッド自身に荷重がかかり曲がることまで想定できなかった。

（添付資料-24）

10.2 ウォータ・ロッドの曲がりのある燃料が装荷された経緯

10.2.1 過大な荷重がかかる作業を実施していた経緯

平成 10 年以前の作業管理状況等について再調査を実施した。

作業体制については、水中で新燃料時に平成 10 年以前の作業方法によって高燃焼度 8×8 燃料にチャンネル・ボックスを装着した元請企業は東芝と日立的の 2 社であり、協力企業や作業員も含めて異なる体制で作業を実施していたことを確認した。

作業時期については、水中で新燃料時に平成 10 年以前の作業方法によって高燃焼度 8×8 燃料にチャンネル・ボックスを装着した時期は平成 5 年から平成 9 年であり、平成 5 年から平成 8 年については、どの作業年においてもウォータ・ロッドの曲がりが発生していることを確認した。一方、平成 9 年に作業を実施した燃料集合体に異常は確認されていないが、燃料集合体を取り扱う作業は、極力経験者で実施するようにしていたこと、東芝と日立的のそれぞれの系列の中で作業員は毎回ほぼ同じであったことから、特定の作業時期及び作業体制において発生しているものではないと考える。

また、過大な荷重がかかる作業を実施していた背景としては以下の要因がうかがわれた。

- ・チャンネル・ボックス装着作業の作業企業（プラントメーカ）の燃料作業部門は、燃料タイプ毎の差異（フィンガスプリングやウォータ・ロッドの上部端栓段付き部の高さ等）について把握していない場合があり、また、作業が燃料にどのような影響を及ぼすか認識していなかった。

- ・当社監理員が現場に立ち会っていたが、チャンネル・ボックスをしっかりと装着することが念頭にあり、作業企業（プラントメカ）も含めて、燃料集合体を損傷させる可能性があることは認識していなかった。
- ・燃料設計が変更になった際も、チャンネル・ボックス装着作業に関係する設計に大きな変更はなかったため、当社及び作業企業（プラントメカ）は従来からの作業方法を実施しても良いとの認識であり、改めてチャンネル・ボックス装着作業方法を検討することはなかった。高燃焼度 8×8 燃料より前の新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料では、ウォータ・ロッドや燃料棒が複数本同時に力を分担して受け止める構造であったため不具合が顕在化しなかったが、燃料タイプが変わり、高燃焼度 8×8 燃料でウォータ・ロッドが 1 本になったことにより、ウォータ・ロッドの曲がり事象が発生したものと考えられる。

(添付資料-25)

10.2.2 これまで発見に至らなかった経緯

① 運転中の監視事項

通常、燃料集合体は、チャンネル・ボックスを装着して原子炉内に装荷した後、チャンネル・ボックスを装着した状態で 4～5 サイクル継続して使用し、使用済燃料となる。使用期間中の燃料集合体の健全性については、熱的制限値やオフガスモニタのトレンド等のパラメータ監視によって担保される。ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体は、いずれも原子炉内で使用中に放射性物質の漏えい等の徴候はなかったため、ウォータ・ロッドの曲がり事象を確認することができなかった。

従って、不具合が顕在化しない場合は、チャンネル・ボックスを装着したままの状態で使用済燃料となるため、チャンネル・ボックス装着等の作業によって発生する不具合は、原子炉内に装荷する前の作業管理によって、異常のある燃料集合体を原子炉内に装荷しないよう対策を講じることが必要である。

② 照射燃料に対する外観検査

照射燃料に対する検査としては、定期検査時に継続使用予定燃料を対象として行う燃料集合体外観検査（定期事業者検査）及び使用済燃料を対象として行う燃料集合体外観検査（社内検査）があるが、いずれも外観に異常がない場合は透過光による検査は実施しない手順となっている。検査によって確認する事項は、照射期間中において燃料集合体に発生する影響であり、仮に異常が発生する場合、燃料集合体の内部の異常も外周の燃料棒に同様に異常が認められることによって検知できるとの考えから、水中テレビカメラを用いた目視等で、損傷、変形及び燃料棒間隔を確認しているものである。

ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体のうち 2 体は、使用済燃料となった後に燃料集合体外観検査（社内自主検査）を実施していたが、外観観察によって異常が確認されなかったことから、透過光による点検は実施していなかった。今回、ウォータ・ロッドの曲がりには透過光による点検を行うことで確認しており、仮に過去の

点検において同様な措置を行っていれば、より早い段階で発見できた可能性がある。

11. 今後の改善事項

ウォータ・ロッドの曲がりが発生した原因に対する直接的な対策は、7章に示した通り、平成10年以降荷重を管理できる治具の使用やチャンネル・ボックスの自重を利用した装着等、燃料集合体に過大な荷重をかけないような標準的な手順を規定するとともに、作業員及び当社監理員に対して燃料取扱に関する再教育を行っており、今回の調査ではモックアップ試験及び外観点検結果で対策の有効性を確認している。

10章で述べた過大な荷重がかかる作業を実施していた経緯と、これまで発見に至らなかった経緯を踏まえ、当社としては以下の対応を追加して実施する。

なお、今後とも燃料集合体にチャンネル・ボックスを装着する作業等を実施する際には、作業の事前打ち合わせ等を通じて、作業員へスパーサズれ事象やウォータ・ロッドの曲がり事象を例に、燃料取扱作業の重要性の教育を継続していくものとする。

11.1 燃料設計変更時の作業方法の確認

燃料集合体の設計変更時においては、複数種類の燃料タイプを原子炉内で併用することに鑑み、設計変更の影響に関して多面的なレビューを実施しているが、そのレビューに燃料集合体の取扱作業を担当する部門（プラントメーカ及び他の燃料集合体取扱作業元請企業）も加えることとする。また、現場における実際の作業方法を燃料集合体の設計担当部門等がレビューする等、燃料集合体の各部材に作業に起因する損傷・変形が生じないよう適切な配慮を行うことができる体制を整備する。

なお、本事象については、ニューシア等を活用し、他の電気事業者等と情報共有するとともに、今後、燃料集合体の設計を変更する場合等には、作業手順や治具等を事業者間で共有し、必要に応じて良好事例を相互に取り入れていくこととする。

11.2 燃料集合体外観検査

水中におけるチャンネル・ボックスの装着方法は平成10年に対策を講じているが、何らかの理由で燃料集合体内部に不具合があった場合でも、可能な限り早期に発見する観点から、燃料集合体の外観点検を実施する際には透過光による点検を合わせて実施していくこととする。

なお、新燃料時に燃料集合体内部に不具合が発生していた場合、照射燃料体検査において発見したとしても、すでに1サイクル以上原子炉内で使用されていたことになる。そのため、原子炉内で使用する前の新燃料時に実施する作業によって生じる可能性がある不具合については、作業方法の検討の段階で、燃料集合体の各部材に作業に起因する損傷・変形が生じないよう配慮を行う。

12. まとめ

- ・燃料集合体の外観点検の状況について取り纏めた。合計 603 体の点検が終了し、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機、2 号機及び 5 号機において合計 26 体の燃料集合体にウォータ・ロッドの曲がりを確認した。
- ・原因調査の結果、ウォータ・ロッドの曲がりとは、新燃料時に平成 10 年の作業方法見直し前に、当時の手順によって水中でチャンネル・ボックスを装着した際に、過大な荷重がかかったことによって発生したと推定され、モックアップ試験とサンプル点検等によってその推定メカニズムが妥当であることを確認した。
- ・ウォータ・ロッドの曲がりが発生すると想定していた分類（新燃料時に平成 10 年の作業方法見直し前に、当時の手順によって水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料）以外の分類では、ウォータ・ロッドの曲がりとは発見されなかった。
- ・平成 10 年に確認した燃料集合体（スぺーサ）の不具合時の対策として水中でチャンネル・ボックスを装着する作業方法の見直しを実施した。今回、モックアップ試験によって見直し後の作業方法の妥当性を確認していること、作業方法見直し後にチャンネル・ボックスを装着した燃料集合体を 327 体点検し、不具合は確認されていないことから、平成 10 年の対策の有効性を確認した。
- ・ウォータ・ロッドの曲がりによる燃料集合体の局所の核特性、炉心特性への影響を踏まえ、安全解析への影響評価を行った。運転時の異常な過渡変化の解析への影響や事故解析等への影響はいずれも小さく、安全解析への影響はないことを確認した。
- ・これまで発見に至らなかった経緯として、平成 10 年のスぺーサズレ調査時は、照射燃料時の水中でのチャンネル・ボックス装着作業が原因だと考えられ、新燃料時に水中でチャンネル・ボックスを装着した燃料は調査対象に含まれなかった。また、ウォータ・ロッドの曲がりを確認した燃料集合体は、いずれも原子炉内での使用中に放射性物質の漏えい等の異常の兆候がなく、定期検査時の燃料集合体外観検査では透過光による点検は行っていなかったため、ウォータ・ロッドの曲がりの発見には至らなかった。
- ・当時過大な荷重がかかる作業を実施していた背景として、チャンネル・ボックス装着作業を担当した作業企業（プラントメーカ）の燃料作業部門は、燃料タイプ毎の差異を把握していないことがあったこと及び当社監理員が現場に立ち会っていたが、作業企業（プラントメーカ）も含めて燃料を損傷させる可能性の認識がなかったことがうかがわれた。
- ・今後の改善事項として、ウォータ・ロッドの曲がりが発生し、これまで発見に至らなかった背景を踏まえ、燃料集合体の外観点検を実施する際には透過光による点検を合わせて実施していくとともに、燃料設計変更時は、燃料設計に対する燃料作業部門（プラントメーカ及び他の燃料集合体取扱作業元請企業）によるレビュー及び作業要領に対する燃料設計部門のレビューを行うことによって、燃料集合体の各部材に作業に起因する損傷・変形が生じないように配慮し、不具合の未然防止及び早期発見を図ることとする。
- ・原子炉内継続使用予定燃料のうち、水中でチャンネル・ボックスを装着した履歴のあ

る燃料集合体は全数点検を実施しており、原子炉内に不具合のある燃料が装荷されることはない。

(添付資料-26)

13. 添付資料

- ・添付資料-1 柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-2 柏崎刈羽原子力発電所 2 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-3 柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-4 柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-5 柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-6 柏崎刈羽原子力発電所 3 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-7 柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-8 福島第二原子力発電所 4 号機 外観点検結果一覧
- ・添付資料-9 ファイバースコープ点検概要図
- ・添付資料-10 ファイバースコープ点検結果
- ・添付資料-11 要因分析図
- ・添付資料-12 燃料集合体概略図
- ・添付資料-13 ウォータ・ロッドの製造履歴調査結果
- ・添付資料-14 ウォータ・ロッドの曲がりの確認された燃料集合体の履歴
- ・添付資料-15 チャンネル・ボックス装着作業方法
- ・添付資料-16 モックアップ試験結果
- ・添付資料-17 ウォータ・ロッドの曲がりの推定メカニズムに影響を与える条件
- ・添付資料-18 チャンネル・ボックス着脱実績
- ・添付資料-19 統計上十分なサンプル点検について
- ・添付資料-20 使用済燃料プール内燃料集合体の外観点検結果
- ・添付資料-21 チャンネル・ボックス装着作業による他の不具合の発生可能性
- ・添付資料-22 ウォータ・ロッドの曲がりによる炉心特性等への影響
- ・添付資料-23 ウォータ・ロッドの曲がりによる安全解析への影響
- ・添付資料-24 平成 10 年「柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 燃料集合体の不具合」の概要及び当時ウォータ・ロッドの曲がり事象の発見に至らなかった経緯
- ・添付資料-25 チャンネル・ボックス装着作業の管理状況
- ・添付資料-26 調査スケジュール

以 上

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(1/8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャネル・ボックス取付年月(再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度(MWd/t)	備考
1	K5D22	異常あり(下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	37,425	H24.10.26報告済み
2	K5D108	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	39,553	H24.10.26報告済み
3	K5D28	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	45,100	H24.11.6報告済み
4	K5D20	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	45,193	H24.11.6報告済み
5	K5D14	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～7 (平成7年7月～平成11年5月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	36,996	H24.11.6報告済み
6	K5D15	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～7 (平成7年7月～平成11年5月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	36,978	H24.11.6報告済み
7	K5D34	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	39,251	H24.11.6報告済み
8	K5C135	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル4～7 (平成6年4月～平成11年5月)	平成5年9月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	41,082	H24.11.6報告済み
9	K5E34	異常あり(下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～8 (平成8年10月～平成12年8月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	37,174	H24.11.6報告済み
10	K5E24	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～8 (平成8年10月～平成12年8月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	37,616	H24.11.6報告済み
11	K5E31	異常あり(下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～8 (平成8年10月～平成12年8月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	37,691	H24.11.6報告済み
12	K5E55	異常あり(下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～8 (平成8年10月～平成12年8月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	37,747	H24.11.6報告済み
13	K5E39	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	44,735	H24.11.6報告済み
14	K5E51	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	44,058	H24.11.6報告済み
15	K5E13	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	45,124	H24.11.6報告済み
16	K5E28	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(再) 平成14年1月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	46,242	H24.11.6報告済み
17	K5E57	異常あり(上・下部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル6～10 (平成8年10月～平成15年2月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	38,105	H24.11.6報告済み
18	K5D18	異常あり(上部)	JNF	高燃焼度8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	45,299	H24.11.6報告済み
19	K5GN60	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月(新)	使用済燃料プール	—	45,293	H24.10.26報告済み
20	K5GN109	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(新)	使用済燃料プール	—	43,744	H24.10.26報告済み
21	K5GN125	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	43,680	H24.10.26報告済み
22	K5GN116	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	43,476	H24.10.26報告済み
23	K5GN34	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成10年11月(新)	使用済燃料プール	—	41,989	H24.10.26報告済み
24	K5GN122	異常なし	NFI	高燃焼度8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	39,305	H24.10.26報告済み

※1：点検作業等にてチャネル・ボックスを脱着したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル(現グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン) NFI：原子燃料工業

GN-J：グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(2/8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャネル・ボックス取付年月 (再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度 (MWd/t)	備考
25	K5N134	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	40,942	H24.10.26報告済み
26	K5N129	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	39,851	H24.10.26報告済み
27	K5C149	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル4～7 (平成6年4月～平成11年5月)	平成5年9月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	43,928	H24.10.26報告済み
28	K5D2	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～7 (平成7年7月～平成11年5月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	39,482	H24.11.6報告済み
29	K5D29	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	45,102	H24.11.6報告済み
30	K5G13	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	40,557	H24.11.6報告済み
31	K5G6	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成10年11月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	41,004	H24.11.6報告済み
32	K5C11	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル4～7 (平成6年4月～平成11年5月)	平成5年9月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	41,390	H24.11.6報告済み
33	K5E44	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル6～8 (平成8年10月～平成12年8月)	平成8年5月(再)	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	38,163	H24.11.6報告済み
34	K5Y218	異常なし	JNF	新型8×8 シムコガラス付燃料	サイクル6 (平成8年10月～平成9年12月)	平成元年4月(新) 平成8年9月(再) 平成10年1月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅠ	11,571	H24.11.6報告済み
35	K5D148	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～7 (平成7年7月～平成11年5月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	38,811	H25.1.7報告済み
36	K5D174	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～7 (平成7年7月～平成11年5月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	37,014	H25.1.7報告済み
37	K5D125	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	39,411	H25.1.7報告済み
38	K5D128	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	39,364	H25.1.7報告済み
39	K5D129	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	46,462	H25.1.7報告済み
40	K5D137	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	39,644	H25.1.7報告済み
41	K5D140	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	39,614	H25.1.7報告済み
42	K5D176	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	45,158	H25.1.7報告済み
43	K5D180	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	45,646	H25.1.7報告済み
44	K5D61	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月(新)	使用済燃料プール	－	37,598	H25.1.7報告済み
45	K5G35	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月(再) 平成14年1月(再)*2	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	41,992	H25.1.7報告済み

※1：点検作業等にてチャネル・ボックスを脱着したもの。

※2：新燃料時ではなく、旧燃料時にチャネル・ボックスの取り替えを実施したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル（現グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン）

GNF-J：グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

NFI：原子燃料工業

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(3 / 8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャンネル・ボックス取付年月 (再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度 (MWd/t)	備考
46	K5G57	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成10年11月 (再) 平成15年3月 (再)※2	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	41, 091	H25. 1. 7報告済み
47	K5G60	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月 (再) 平成15年3月 (再)※2	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	42, 256	H25. 1. 7報告済み
48	K5D175	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル5～8 (平成7年7月～平成12年8月)	平成6年10月 (新) 平成11年5月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	39, 730	H25. 1. 7報告済み
49	K5F129	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成9年6月 (新) 平成17年8月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	43, 884	H25. 1. 7報告済み
50	K5F130	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成9年6月 (新) 平成19年2月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	45, 143	H25. 1. 7報告済み
51	K5F131	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成9年6月 (新) 平成19年2月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	45, 964	H25. 1. 7報告済み
52	K5F143	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成9年6月 (新) 平成12年9月※1 平成14年1月※1 平成15年3月※1 平成17年9月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	44, 063	H25. 1. 7報告済み
53	K5F144	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル7～10 (平成10年3月～平成15年2月)	平成9年6月 (新) 平成11年5月※1 平成12年9月※1 平成14年1月※1 平成15年3月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	39, 474	H25. 1. 7報告済み
54	K5GN19	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成10年11月 (新) 平成19年2月※1	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	48, 437	H25. 1. 7報告済み

※1：点検作業等にてチャンネル・ボックスを脱着したもの。

※2：新燃料時ではなく、照射燃料時にチャンネル・ボックスの取り替えを実施したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル (現グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン)
GNF-J：グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
NFI：原子燃料工業

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(4/8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャンネル・ボックス取付年月(再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度(MWd/t)	備考
55	K5GN39	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8~12 (平成11年7月～平成18年11月)	平成10年11月(新) 平成19年2月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	48,667	H25.1.7報告済み
56	K5GN143	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8~11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月(再) 平成12年10月*1 平成14年1月*1 平成15年3月(再)*2 平成15年3月*1 平成17年9月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	44,940	H25.1.7報告済み
57	K5GN144	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8~11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月(再) 平成12年10月*1 平成14年1月(再)*2 平成14年1月*1 平成15年3月*1 平成17年9月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅣ	45,330	H25.1.7報告済み
58	K5H27	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9~13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年8月(新) 平成14年1月*1 平成15年4月*1 平成20年3月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	44,860	H25.1.7報告済み
59	K5H43	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9~13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年8月(新) 平成14年1月*1 平成15年4月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	43,476	H25.1.7報告済み
60	K5H71	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9~12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成11年9月(新) 平成19年2月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	41,912	H25.1.7報告済み

※1：点検作業等にてチャンネル・ボックスを脱着したもの。
※2：新燃料時ではなく、照射燃料時にチャンネル・ボックスの取り替えを実施したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

用語 JNF：日本ニュークリア・フューエル(現グローバル・ニュークリア・フューエル・ジャパン)
GNF-J：グローバル・ニュークリア・フューエル・ジャパン

NFI：原子燃料工業

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(5 / 8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャンネル・ボックス取付年月 (再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度 (MWd/t)	備考
61	K5H72	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9～12 (平成12年11月～平成18年11月)	平成11年9月 (新)	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	42, 044	H25. 1. 7報告済み
						平成19年2月 ※1				
						平成20年3月 ※1				
62	K5H105	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9～13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年9月 (新)	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	50, 969	H25. 1. 7報告済み
						平成24年4月 ※1				
63	K5H112	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9～13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年9月 (新)	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	43, 516	H25. 1. 7報告済み
						平成17年8月 ※1				
64	K5H144	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9～13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年9月 (新)	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	44, 765	H25. 1. 7報告済み
						平成17年8月 ※1				
						平成20年2月 ※1				
65	K5H161	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル9～13 (平成12年11月～平成24年1月)	平成11年9月 (新)	使用済燃料プール	カテゴリⅧ	50, 830	H25. 1. 7報告済み
						平成24年4月 ※1				
66	K5M126	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	14, 646	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
67	K5L172	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成16年6月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	12, 663	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
68	K5M82	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	13, 618	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
69	K5M5	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	13, 498	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
70	K5M53	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	14, 302	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
71	K5M10	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	13, 833	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				
72	K5L108	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成16年6月 (新)	原子炉内	脱着実績のあるもの	12, 286	H25. 5. 31報告済み
						平成20年3月 ※1				

※1：点検作業等にてチャンネル・ボックスを脱着したもの。

※1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル (現グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン) NFI：原子燃料工業

GNF-J：グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(6 / 8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャネル・ボックス取付年月 (再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度 (MWd/t)	備考
73	K5M31	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新) 平成20年3月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	14, 511	H25. 5. 31 報告済み
74	K5M104	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新) 平成20年3月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	12, 891	H25. 5. 31 報告済み
75	K5M67	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新) 平成20年3月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	13, 504	H25. 5. 31 報告済み
76	K5M30	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新) 平成24年4月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	15, 018	H25. 5. 31 報告済み
77	K5M34	異常なし	GNF-J	9×9燃料 (A型)	サイクル13 (平成22年11月～平成24年1月)	平成18年9月 (新) 平成24年4月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	14, 995	H25. 5. 31 報告済み
78	K5J145	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル10～13 (平成14年2月～平成24年1月)	平成13年7月 (新) 平成24年4月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	42, 080	H25. 5. 31 報告済み
79	K5J148	異常なし	JNF	9×9燃料 (A型)	サイクル10～13 (平成14年2月～平成24年1月)	平成13年7月 (新) 平成24年4月*1	原子炉内	脱着実績のあるもの	42, 000	H25. 5. 31 報告済み
80	K5G24	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～11 (平成11年7月～平成17年7月)	平成10年11月 (再)	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	39, 125	
81	K5G68	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル8～10 (平成11年7月～平成15年2月)	平成10年11月 (再)	使用済燃料プール	カテゴリⅢ	37, 819	
82	K5C113	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル4～6 (平成6年4月～平成9年12月)	平成5年9月 (新) 平成8年9月 (再)*2	使用済燃料プール	カテゴリⅤ	36, 967	
83	K5B50	異常なし	JNF	高燃焼度 8×8燃料	サイクル3～6 (平成4年11月～平成9年12月)	平成3年11月 (新) 平成7年5月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅤ	34, 909	
84	K5A83	異常なし	JNF	新型8×8 シムコエラム7付燃料	サイクル2～4 (平成3年7月～平成7年5月)	平成2年9月 (新) 平成10年1月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅤ	33, 987	
85	K5Z158	異常なし	JNF	新型8×8 シムコエラム7付燃料	サイクル1～4 (平成2年4月～平成7年5月)	平成1年4月 (新) 平成6年2月*1 平成10年1月*1	使用済燃料プール	カテゴリⅤ	35, 848	

用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル (現) グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン NFI：原子燃料工業

※1：点検作業等にてチャネル・ボックスを脱着したもの。

※2：新燃料時ではなく、照射燃料時にチャネル・ボックスの取り替えを実施したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(7/8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャネル・ボックス取付年月(再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度(MWd/t)	備考
86	K5Z154	異常なし	JNF	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル1～4 (平成2年4月～平成7年5月)	平成1年4月(新)	使用済燃料プール	カテゴリV	35, 825	
						平成6年2月*1				
						平成10年1月*1				
87	K5A64	異常なし	JNF	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～4 (平成3年7月～平成7年5月)	平成2年9月(新)	使用済燃料プール	カテゴリV	32, 299	
						平成6年2月*1				
88	K5Z51	異常なし	JNF	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル1～4 (平成2年4月～平成7年5月)	平成1年4月(新)	使用済燃料プール	カテゴリV	35, 245	
						平成3年5月*1				
89	K5AN26	異常なし	NFI	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～5 (平成3年7月～平成8年9月)	平成2年10月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	35, 186	
						平成4年9月*1				
90	K5AN24	異常なし	NFI	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～5 (平成3年7月～平成8年9月)	平成2年10月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	35, 223	
						平成6年2月*1				
91	K5AN34	異常なし	NFI	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～5 (平成3年7月～平成8年9月)	平成2年10月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	35, 848	
						平成7年5月*1				
92	K5AN14	異常なし	NFI	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～4 (平成3年7月～平成7年5月)	平成2年10月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	34, 026	
						平成10年1月*1				
93	K5AN42	異常なし	NFI	新型8×8 シムコニウム7付燃料	サイクル2～5 (平成3年7月～平成8年9月)	平成2年10月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	38, 702	
						平成10年1月*1				
94	K5EN22	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	38, 753	
						平成10年2月*1				
						平成10年2月*1				
						平成11年5月*1				
95	K5EN24	異常なし	NFI	高燃焼度 8×8燃料	サイクル6～9 (平成8年10月～平成14年1月)	平成8年5月(新)	使用済燃料プール	カテゴリVI	38, 861	
						平成10年2月*1				
						平成10年2月*1				
						平成11年5月*1				

※1：点検作業等にてチャネル・ボックスを脱着したもの。
※1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。
用語 JNF：日本ニュークリア・フューエル(現グローバル・ニュークリア・フューエル・ジャパン) NFI：原子燃料工業
6NF-J：グローバル・ニュークリア・フューエル・ジャパン

柏崎刈羽原子力発電所5号機 外観点検結果一覧

(8 / 8)

No	燃料番号	点検結果*1	製造者	燃料タイプ	使用した運転サイクル	チャンネル・ボックス取付年月 (再or新)	対象燃料貯蔵箇所	燃料点検カテゴリ	燃焼度 (MWd/t)	備考
96	K5Y42	異常なし	JNF	新型8×8 ジ・コ=ラム付燃料	サイクル1～2 (平成2年4月～平成4年8月)	平成1年5月(新) 平成15年3月(再) ^{※2}	使用済燃料プール	カテゴリⅦ	22, 290	

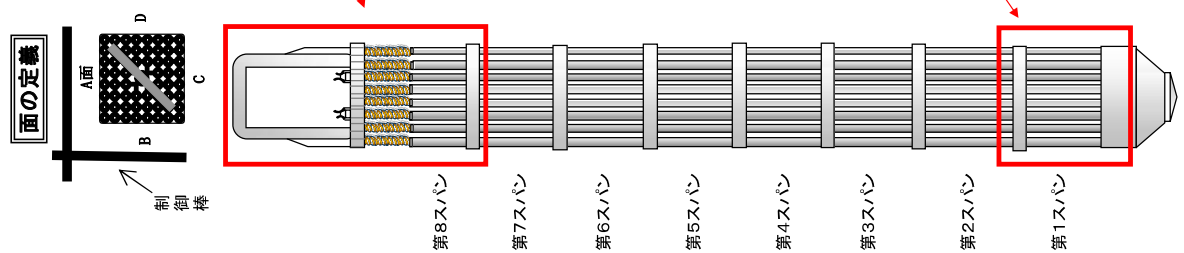
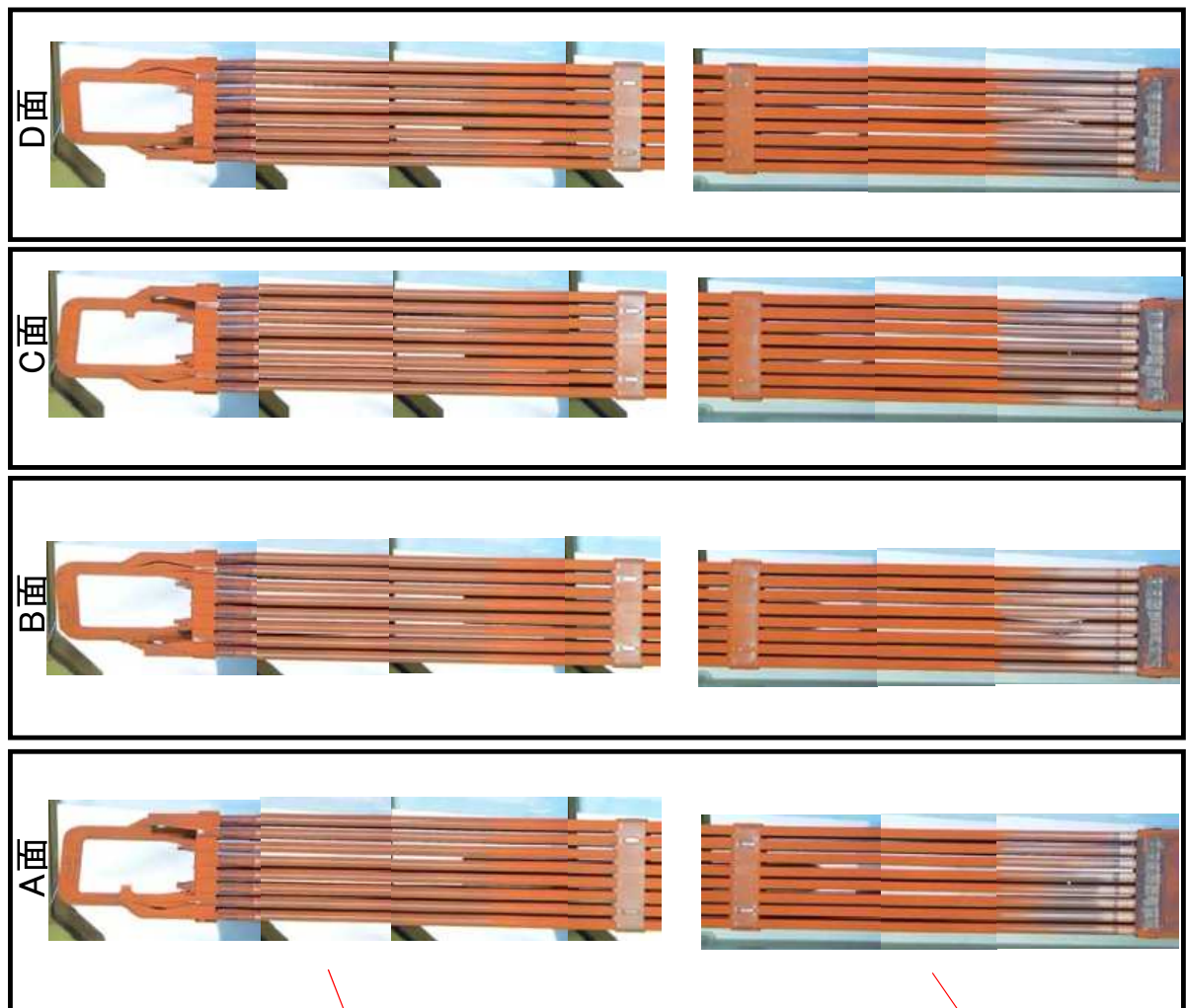
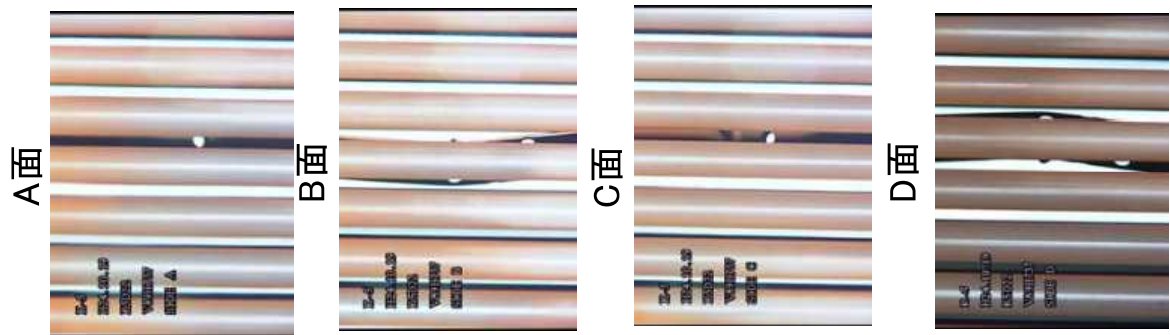
※2：新燃料時ではなく、照射燃料時にチャンネル・ボックスの取り替えを実施したもの。

*1 判定基準：燃料棒間隙変化を含め、異常な変形がないこと。

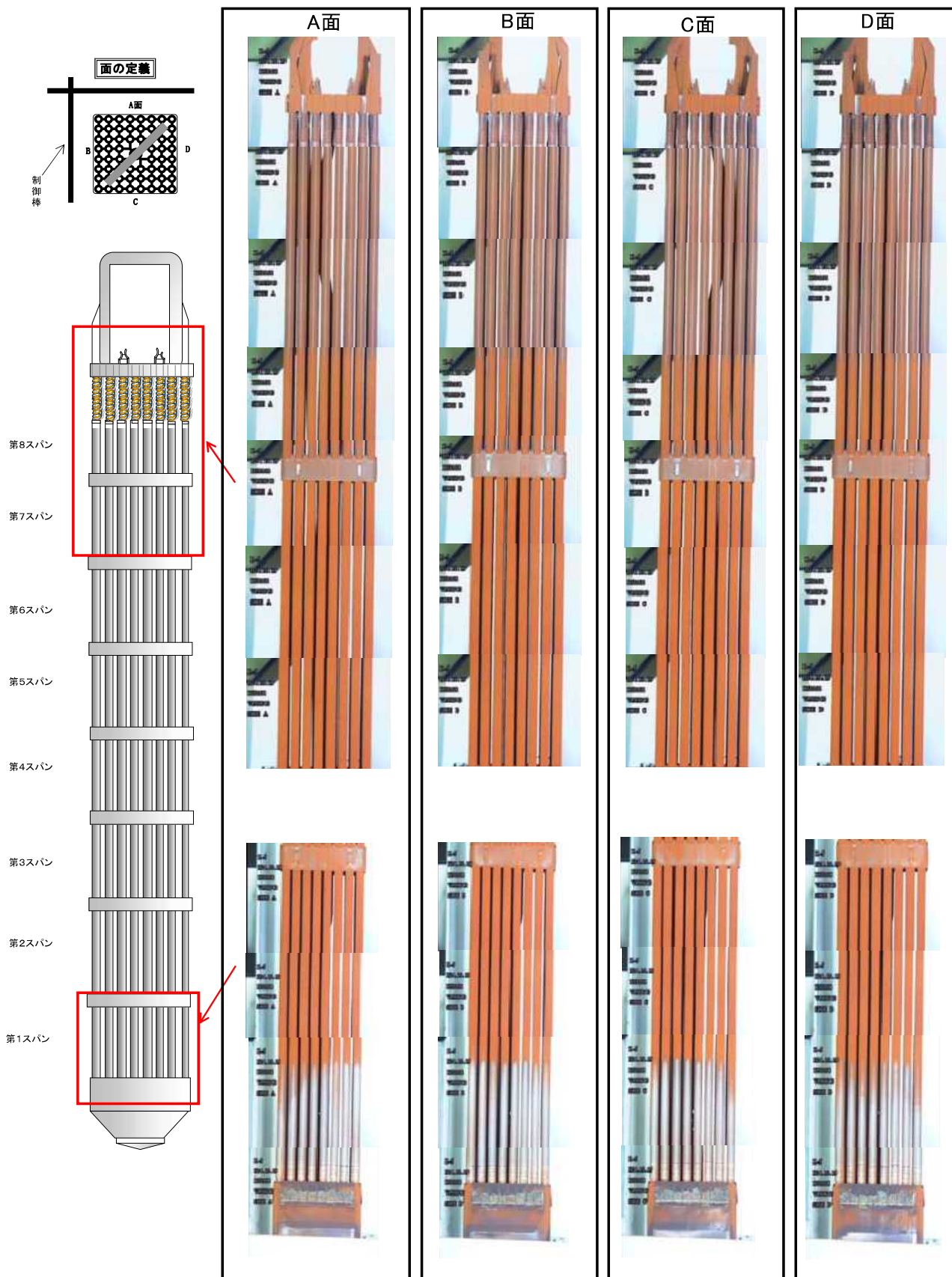
用語 JNF：日本ニュークリア・フュエル（現グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン）
GNF-J：グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン NFI：原子燃料工業

ウォータ・ロッドに曲がりやがりを確認した燃料集合体の側方からの外観(K5D22)

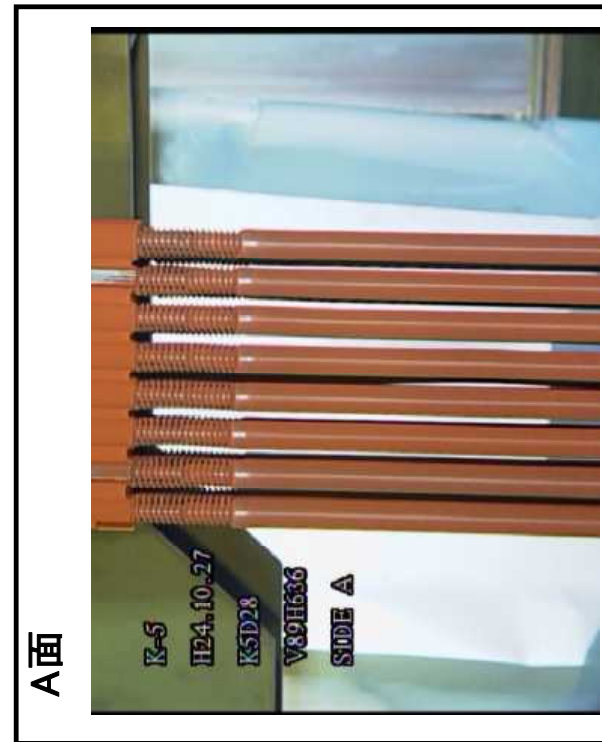
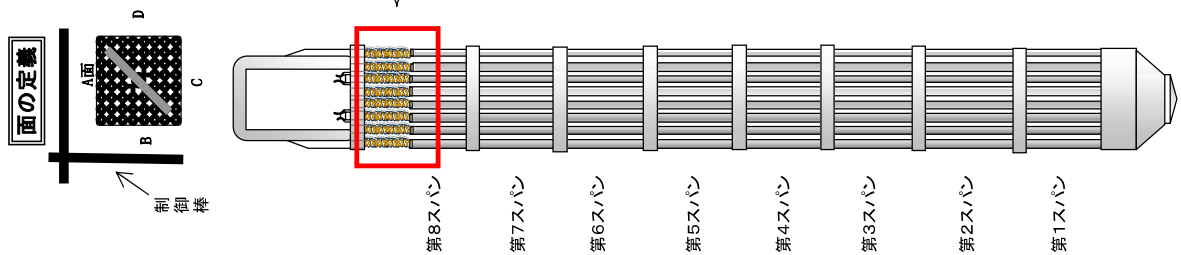
第1スパンの拡大写真



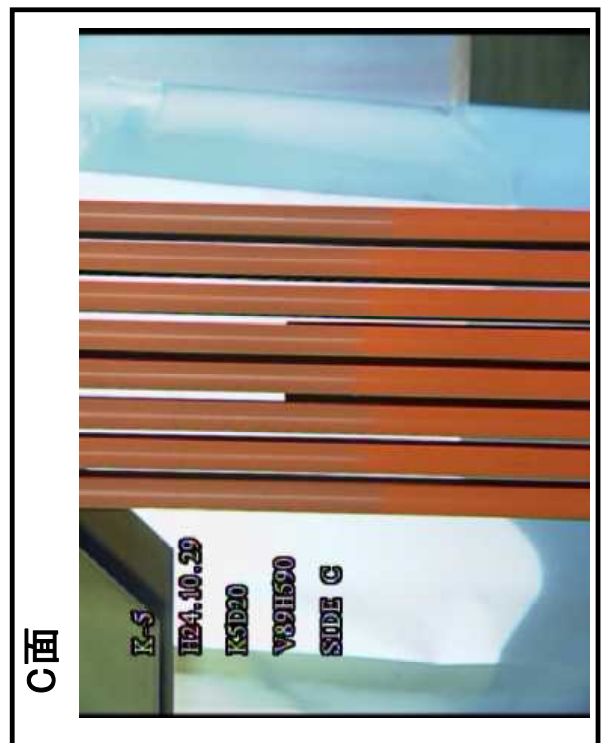
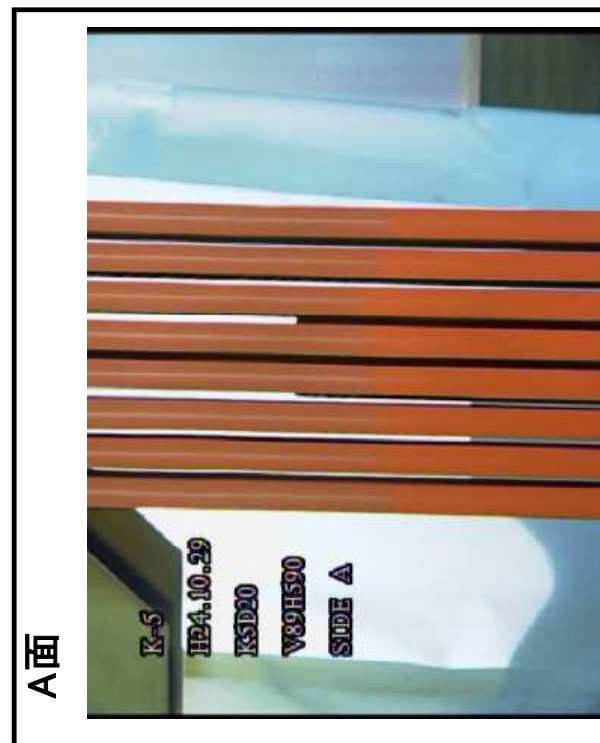
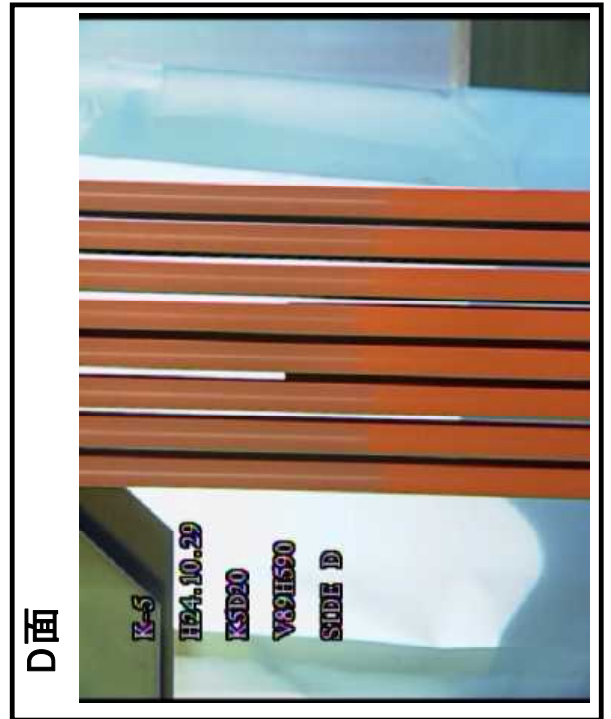
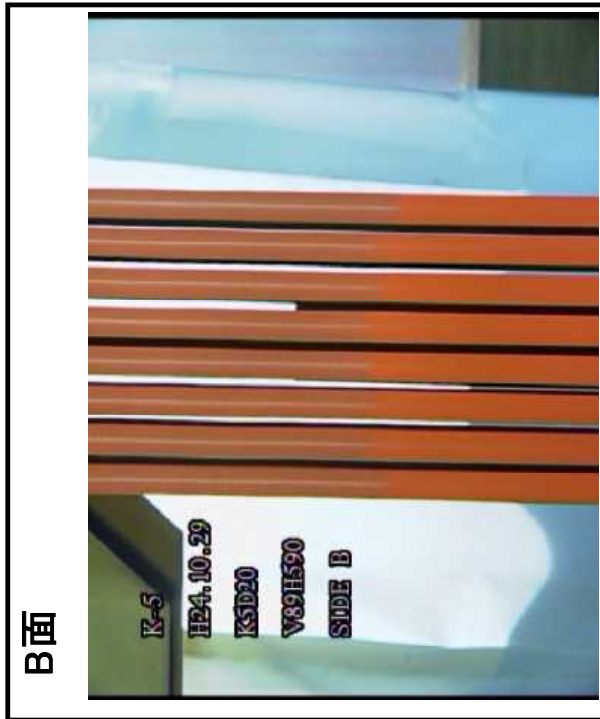
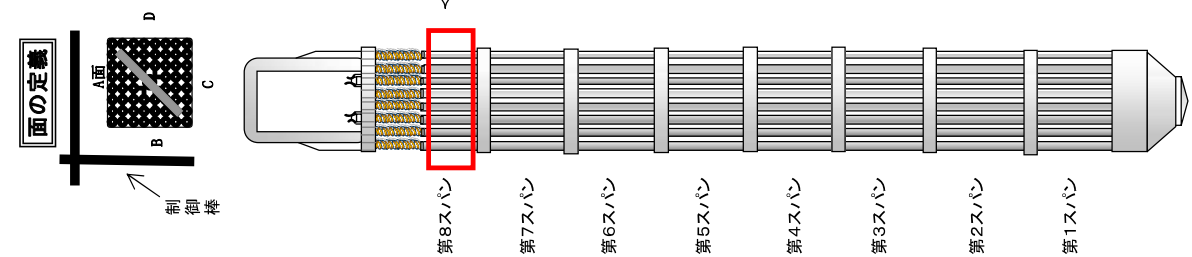
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観 (K5D108)



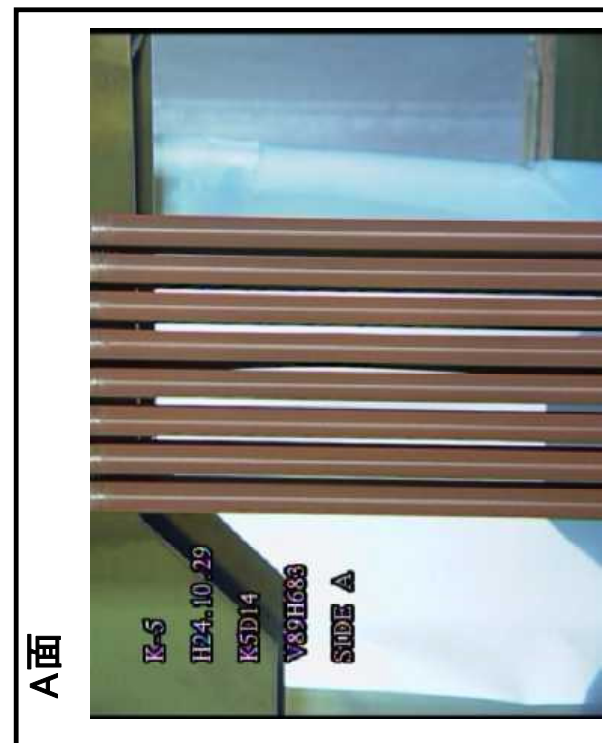
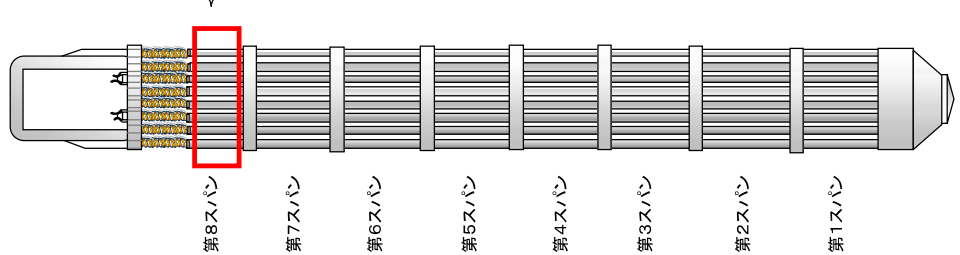
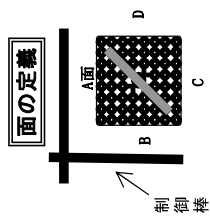
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D28)



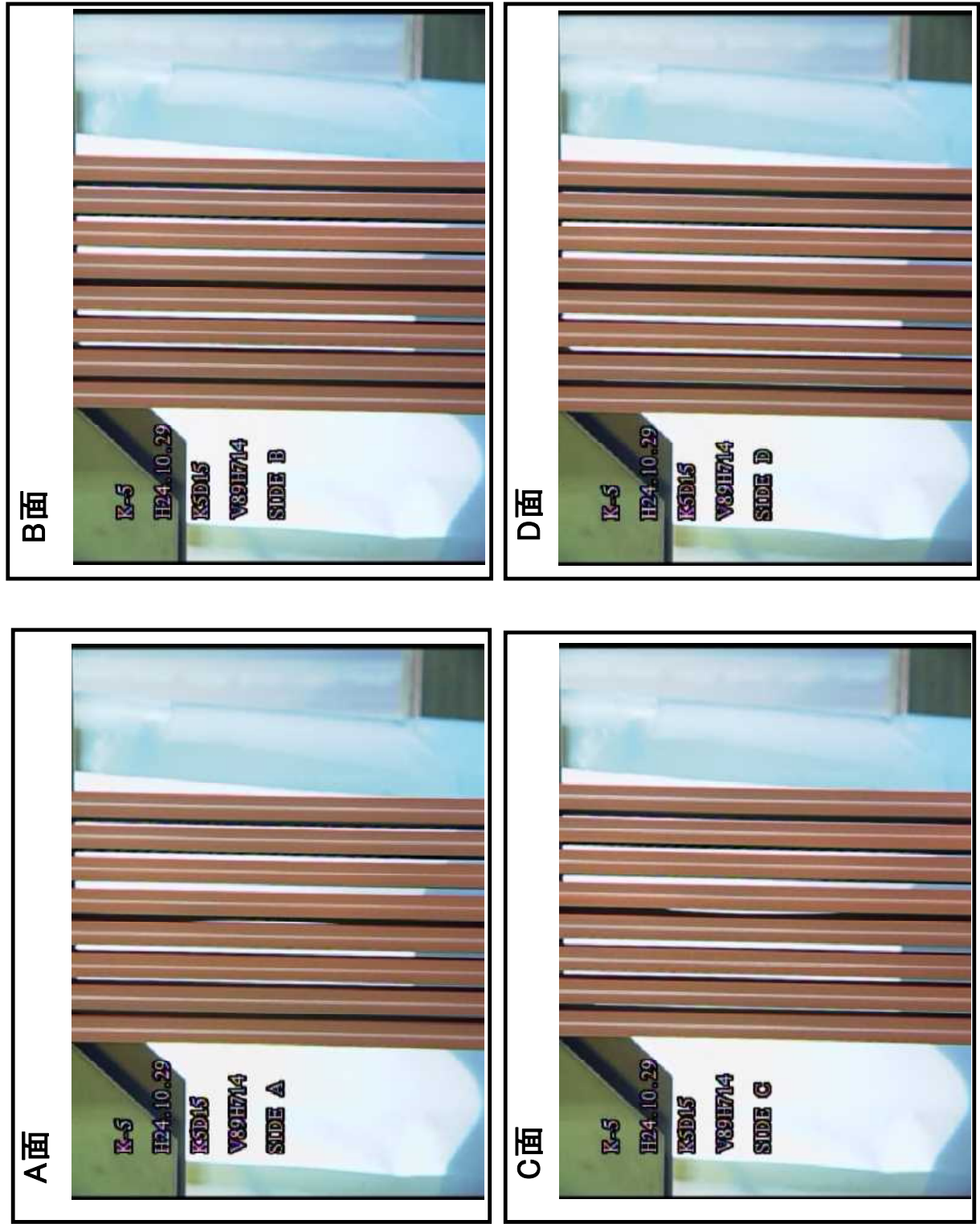
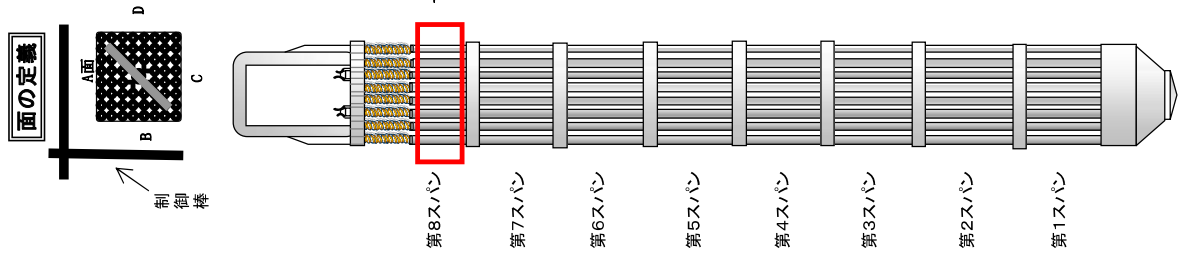
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D20)



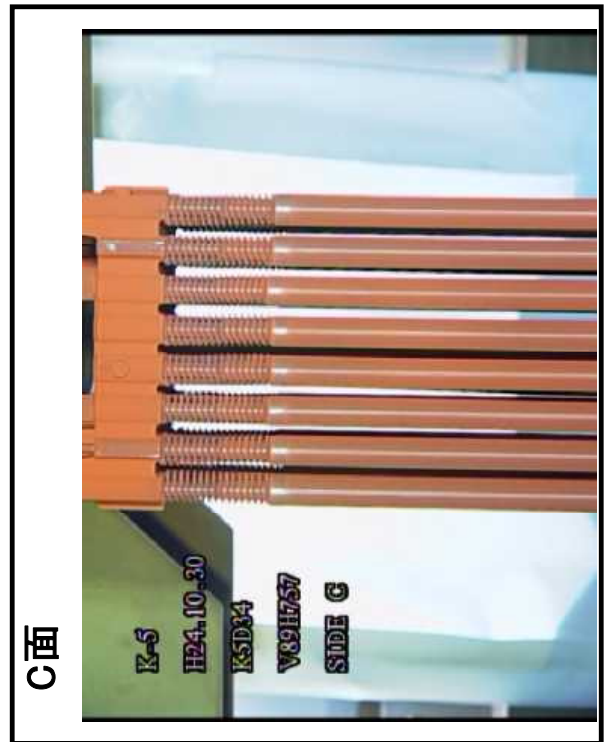
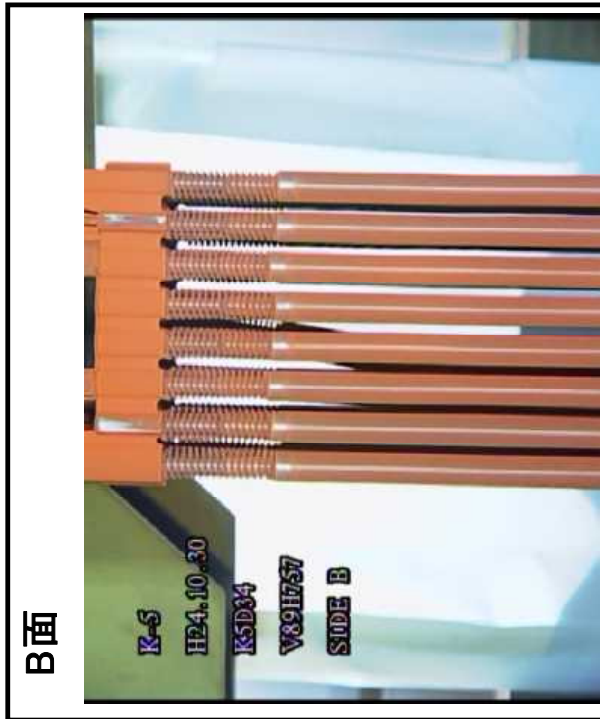
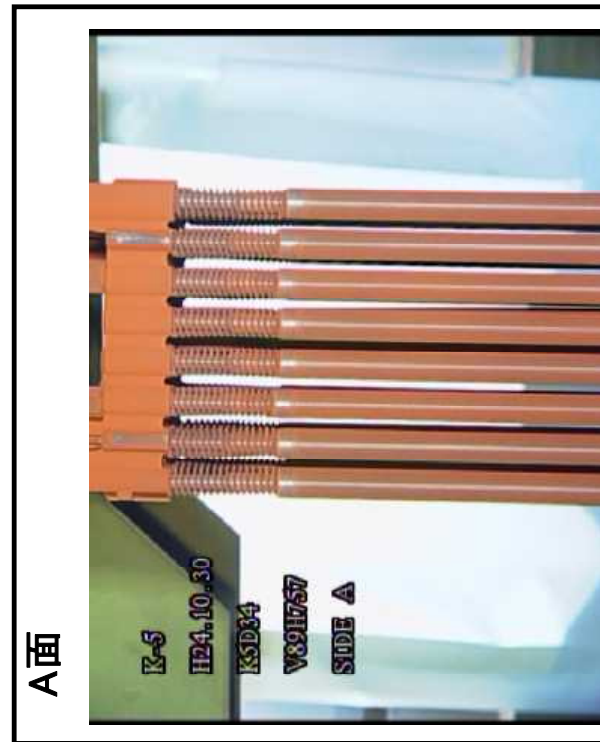
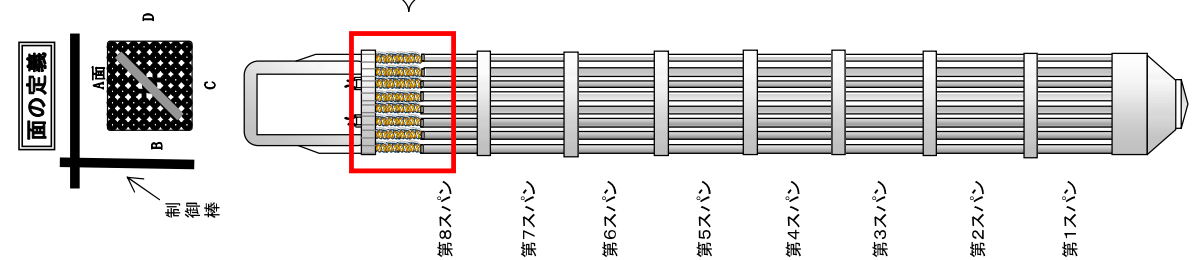
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D14)



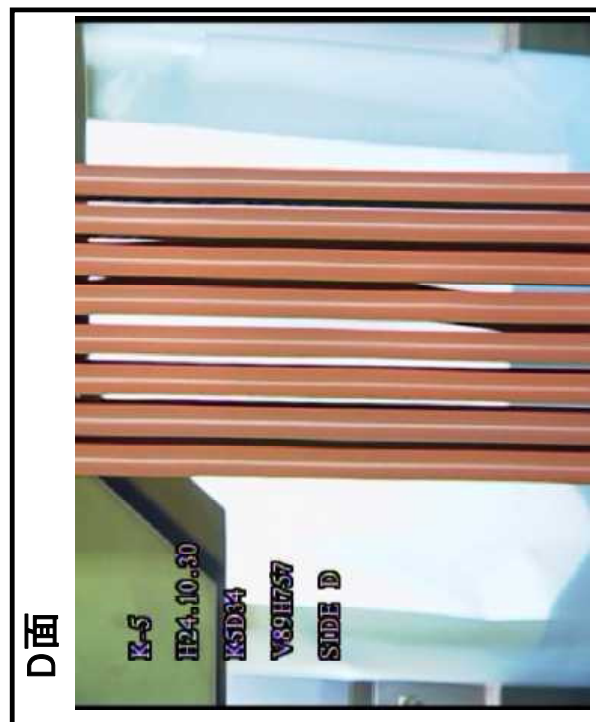
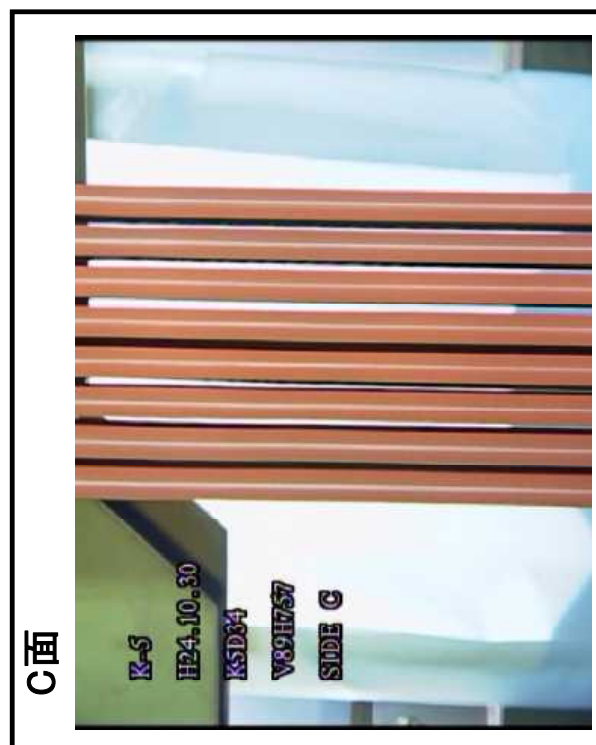
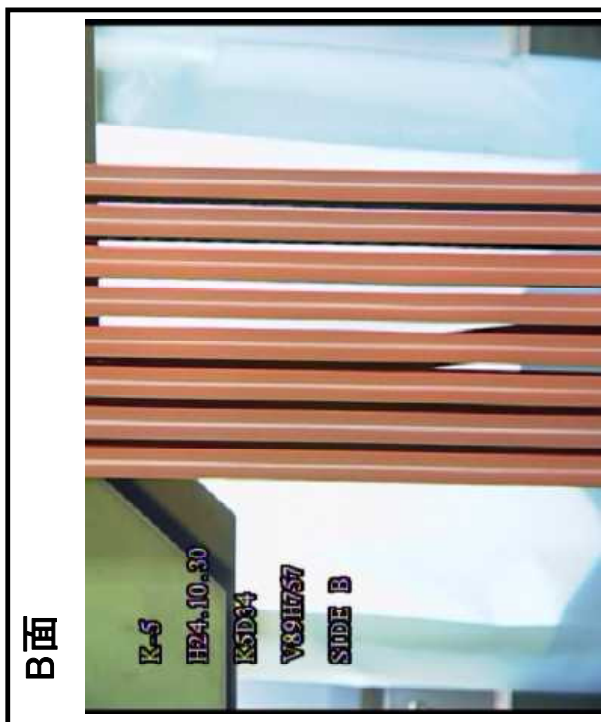
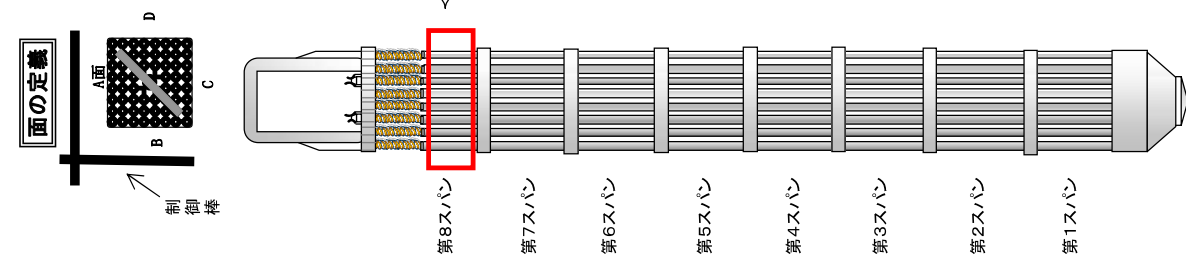
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D15)



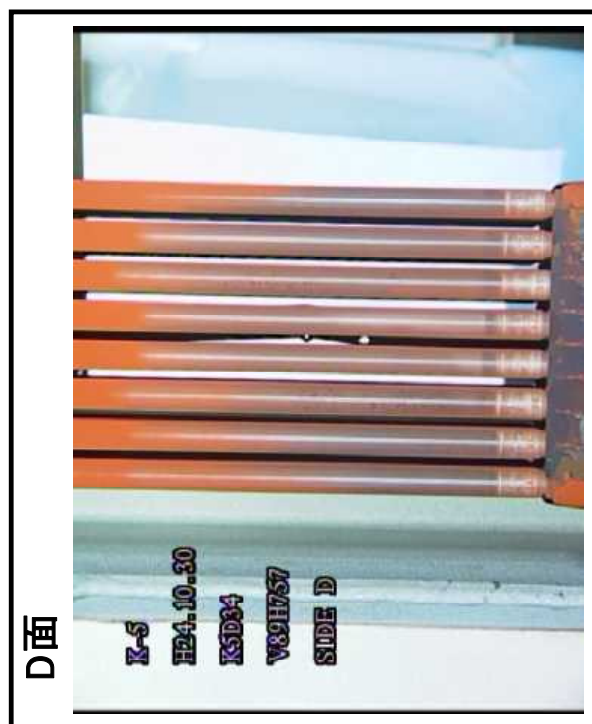
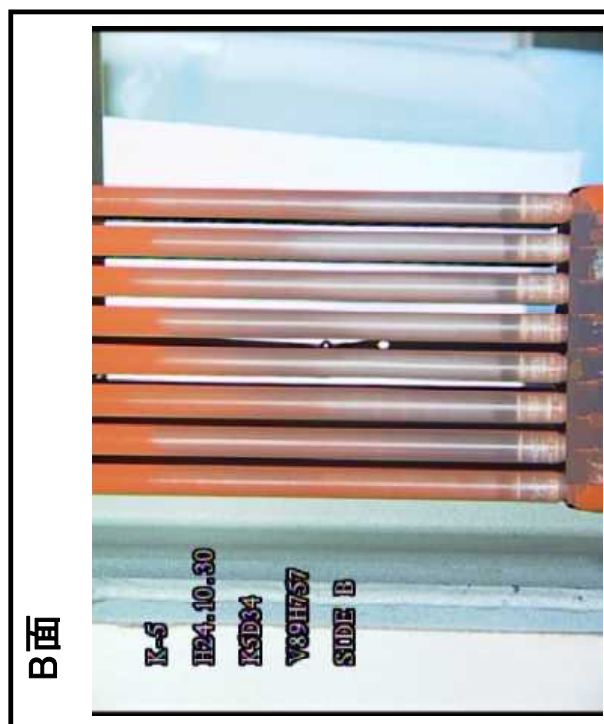
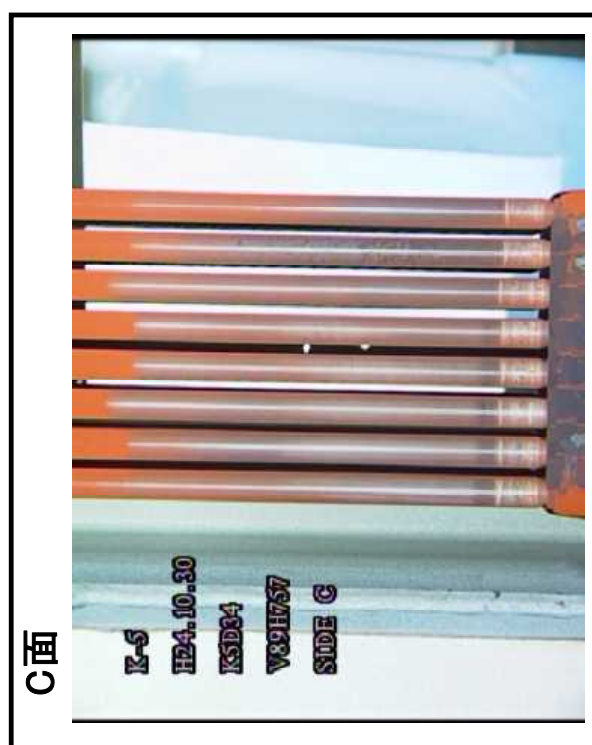
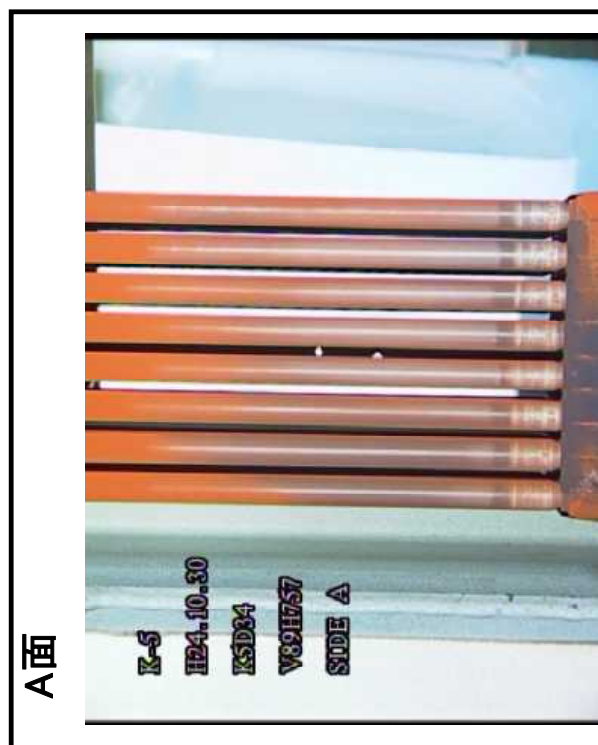
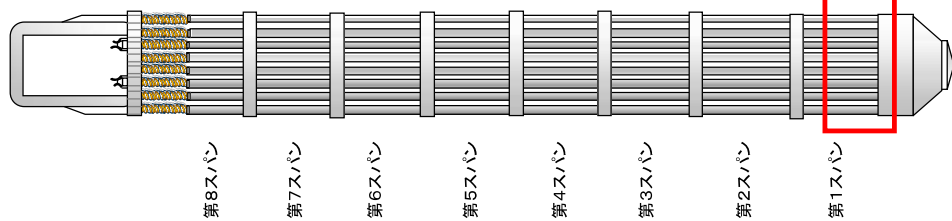
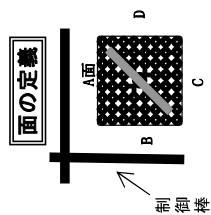
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D34)
1/3



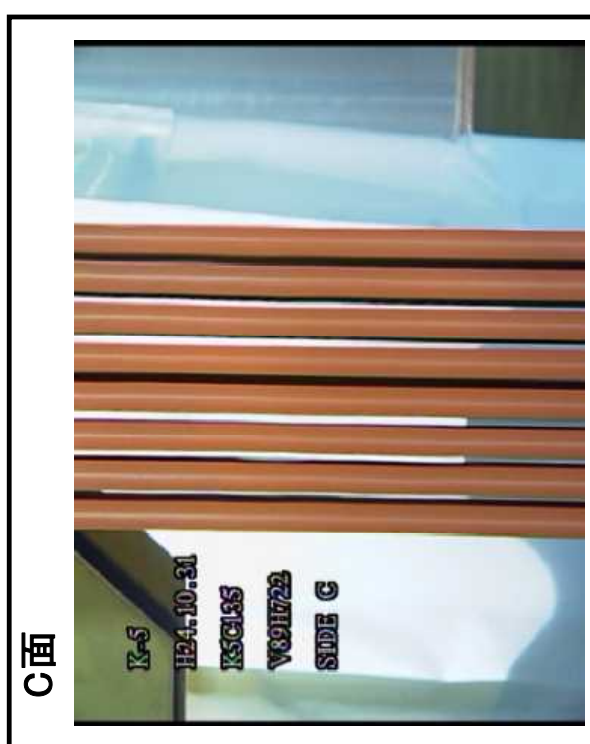
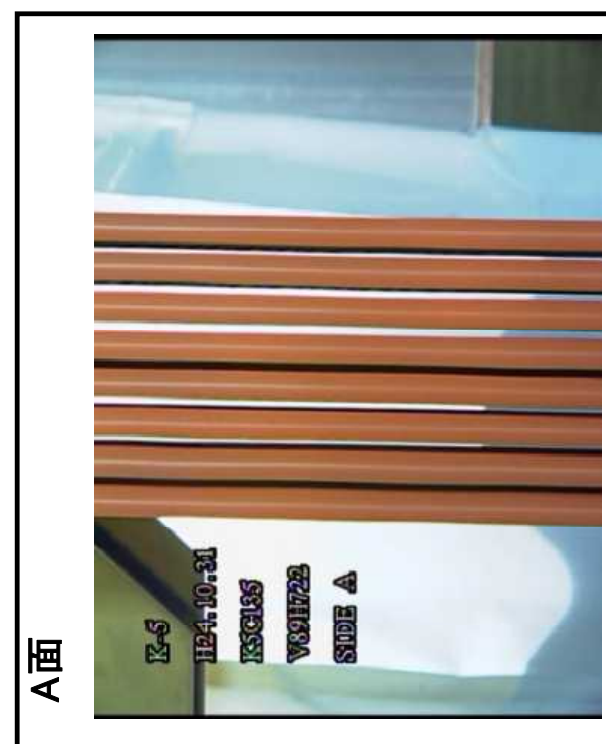
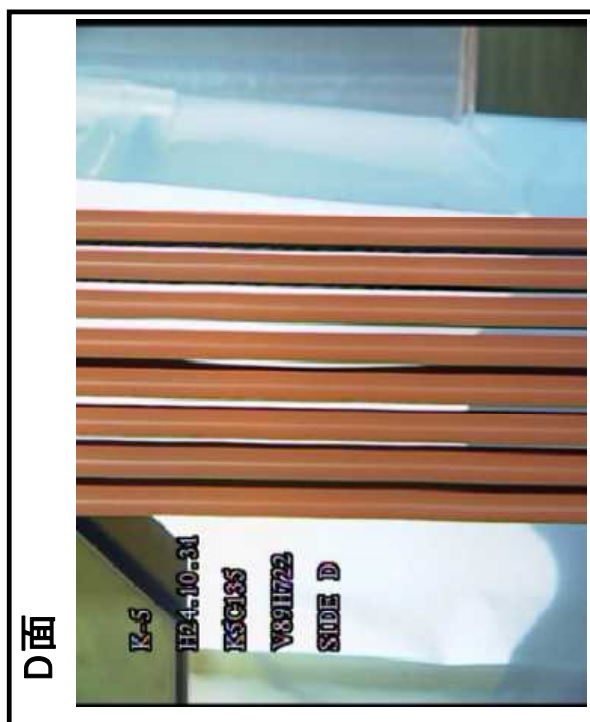
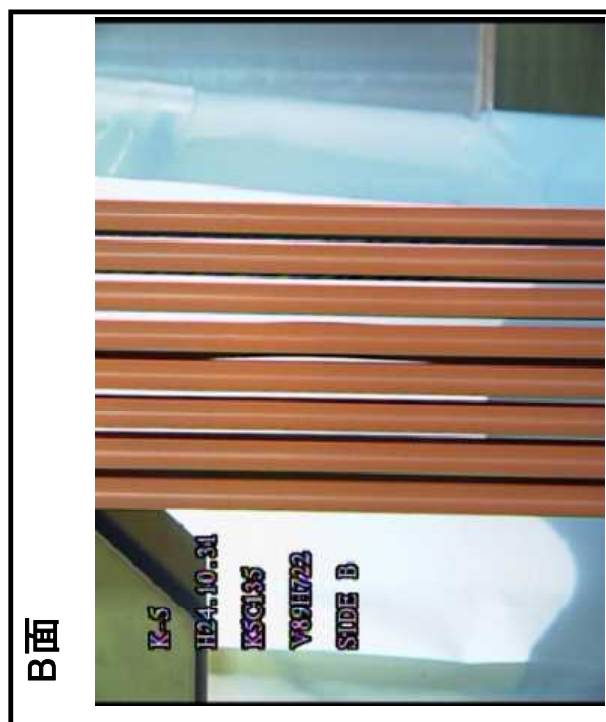
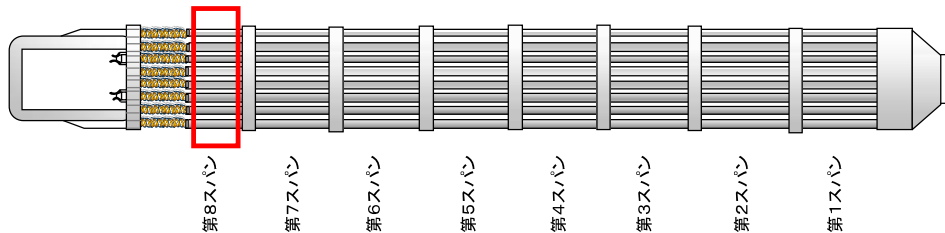
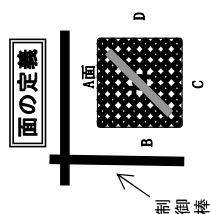
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D34)
2/3



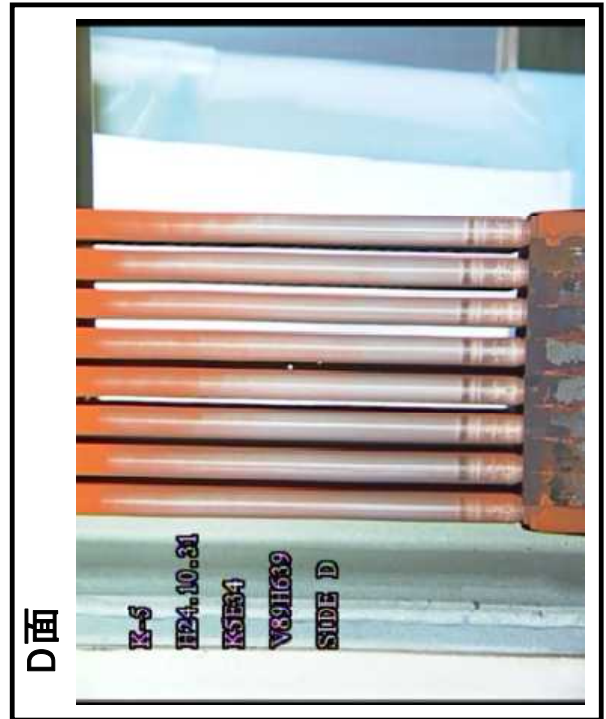
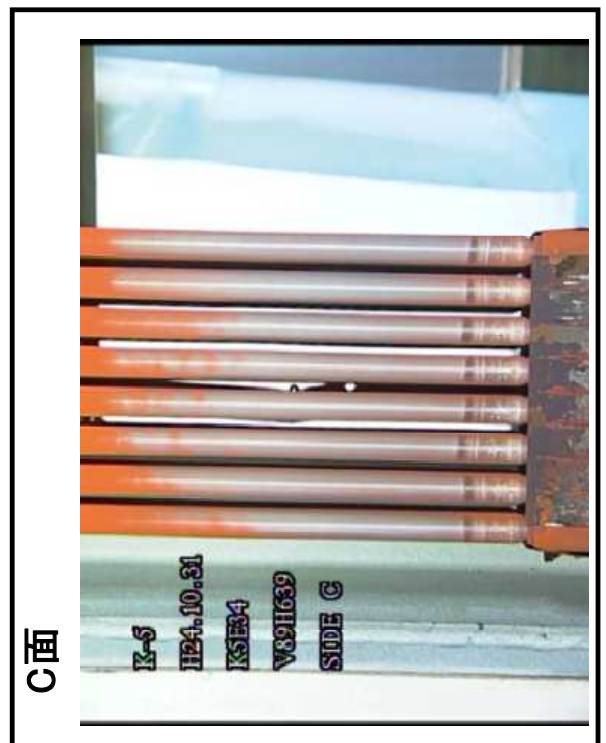
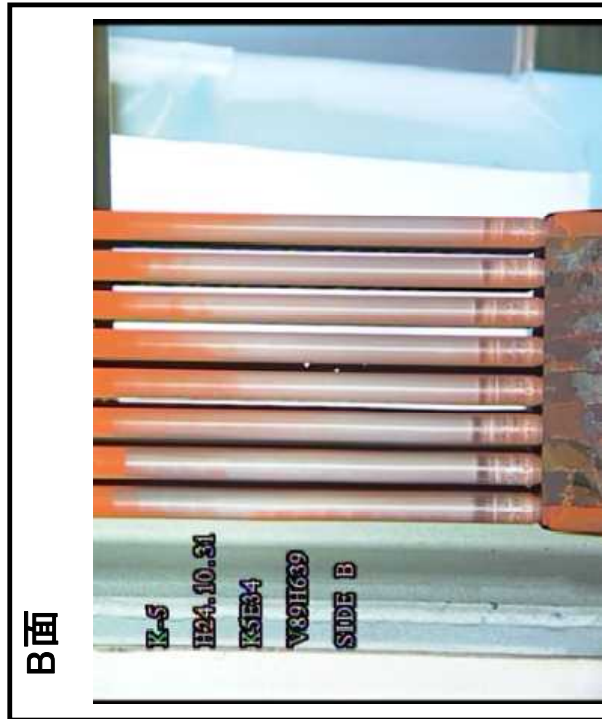
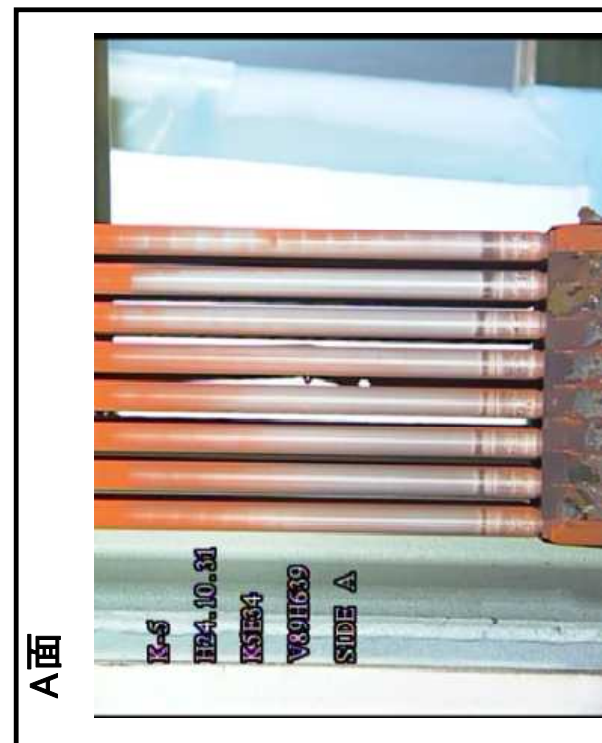
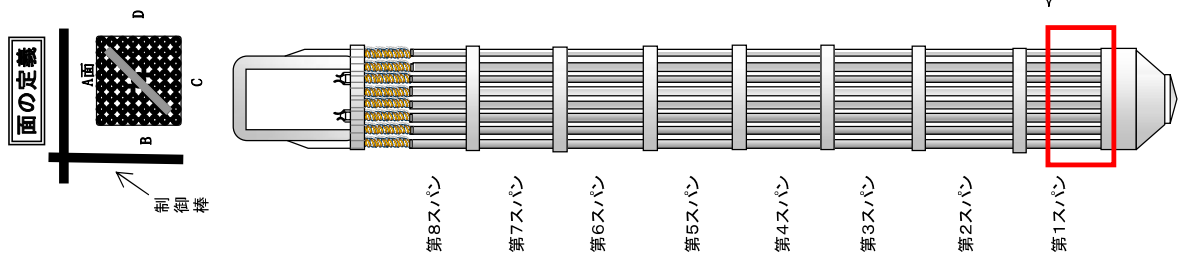
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D34)
3/3



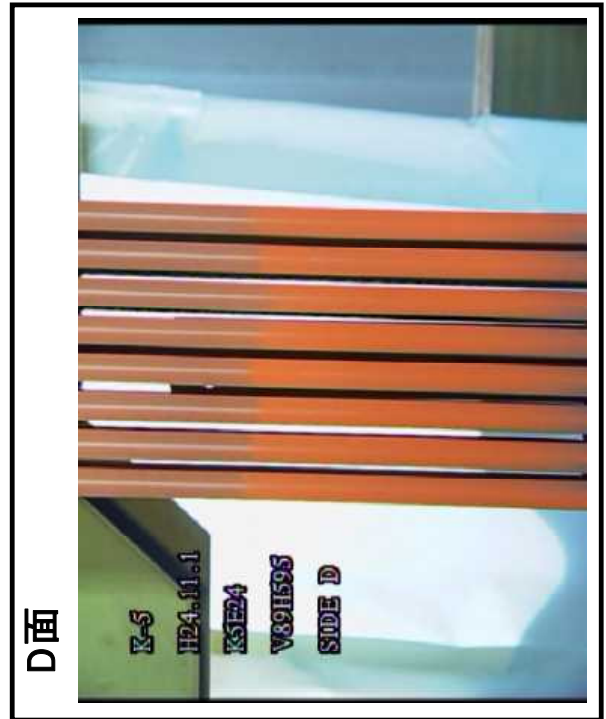
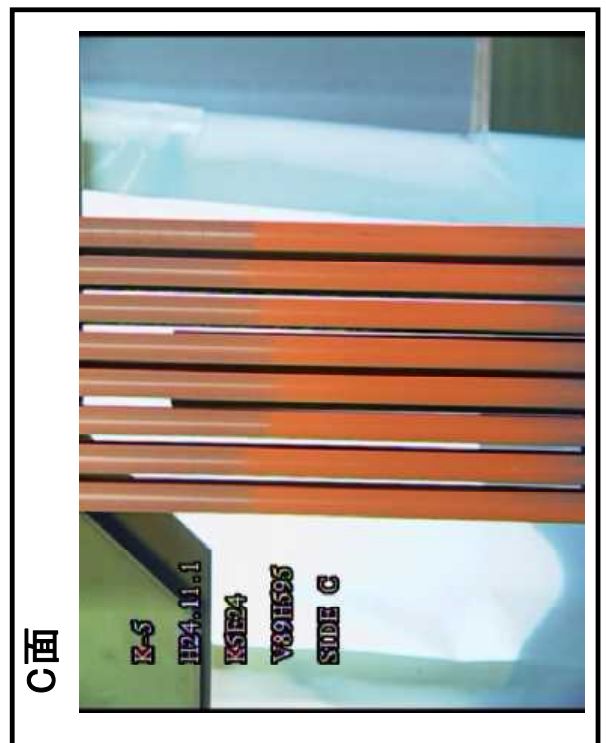
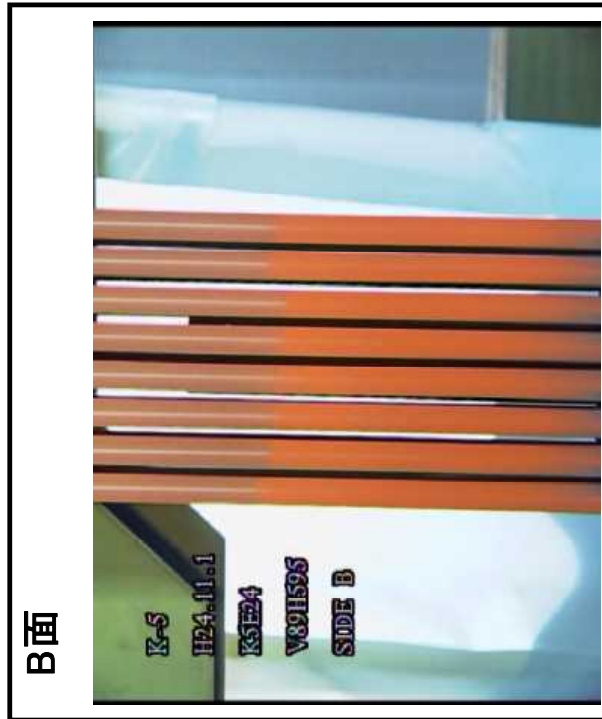
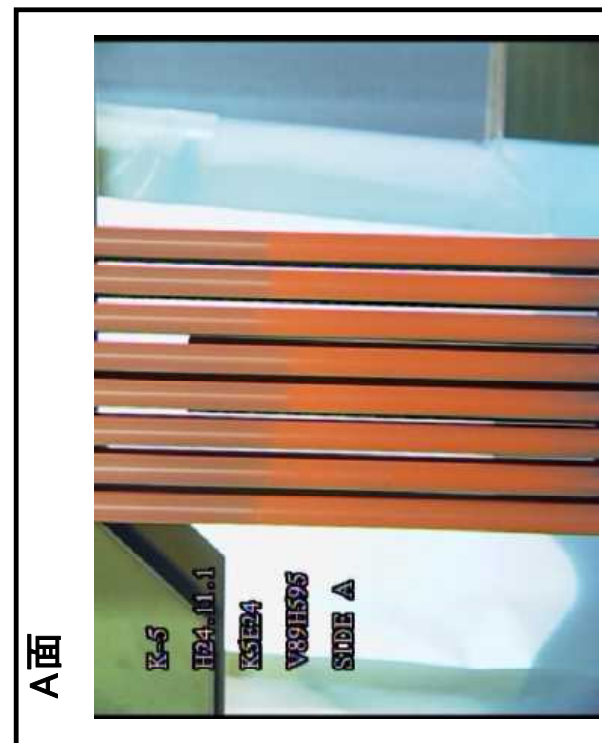
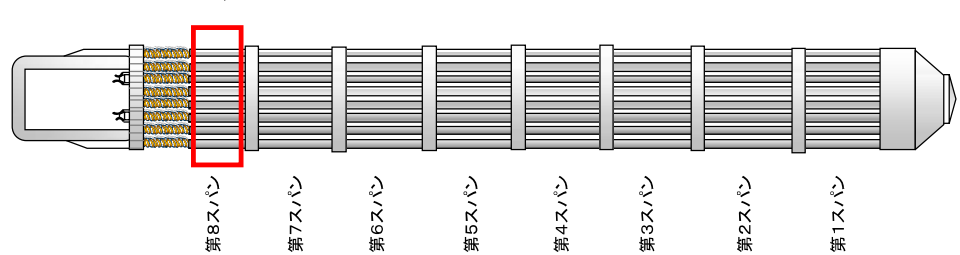
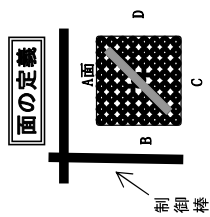
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5C135)



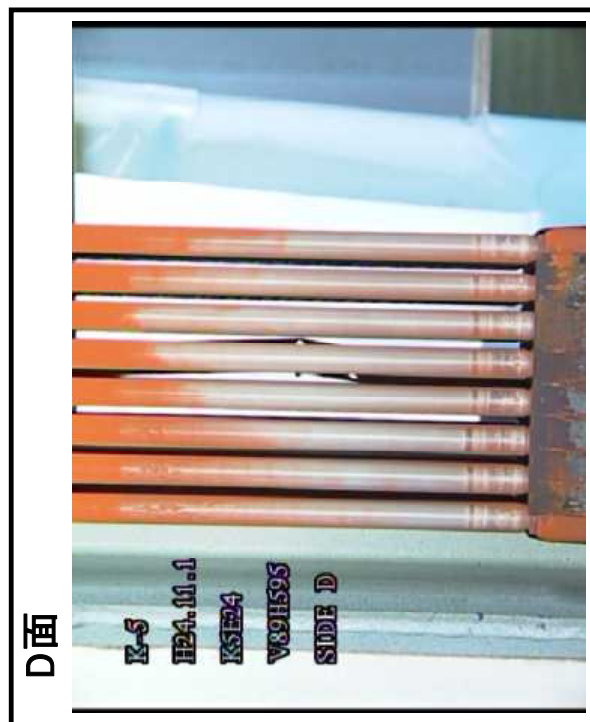
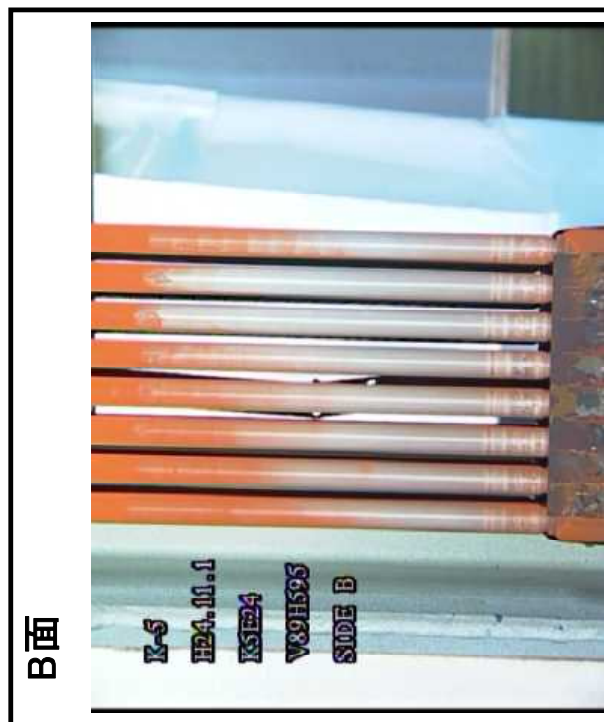
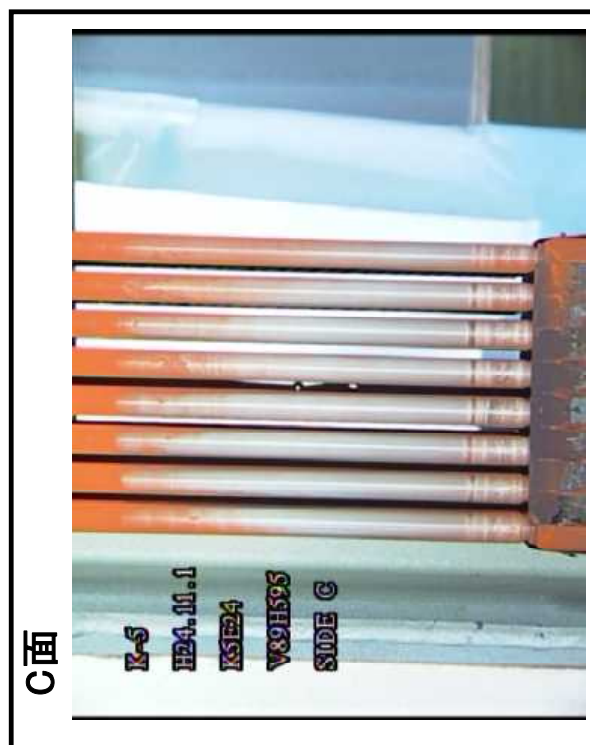
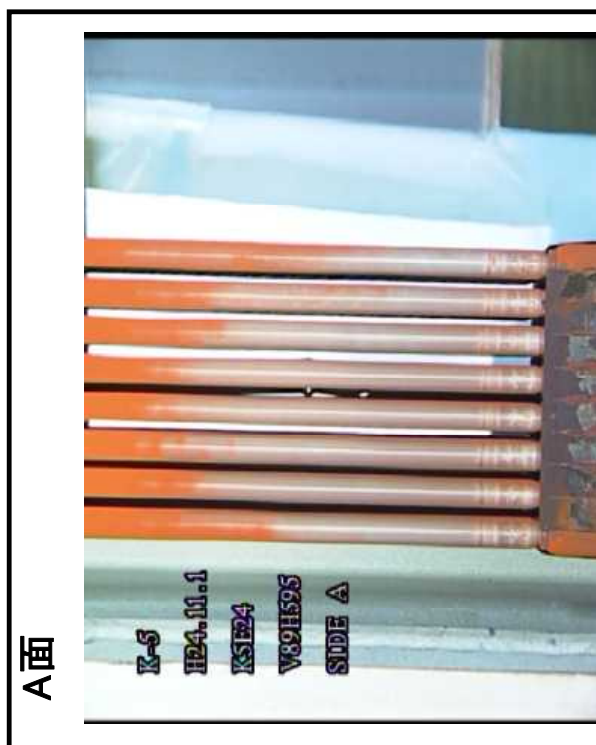
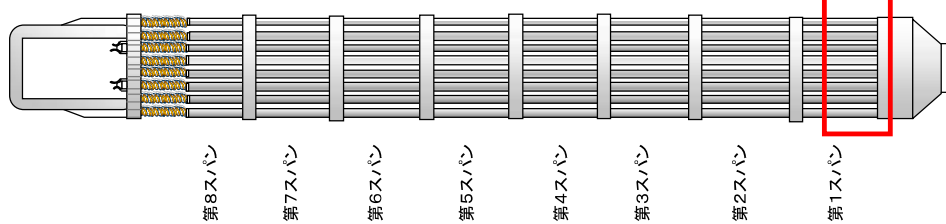
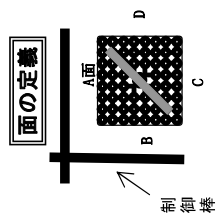
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E34)



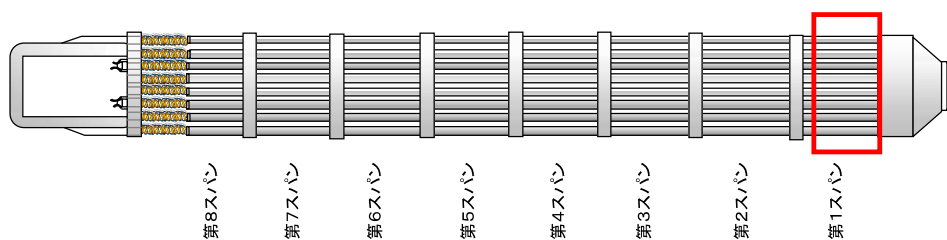
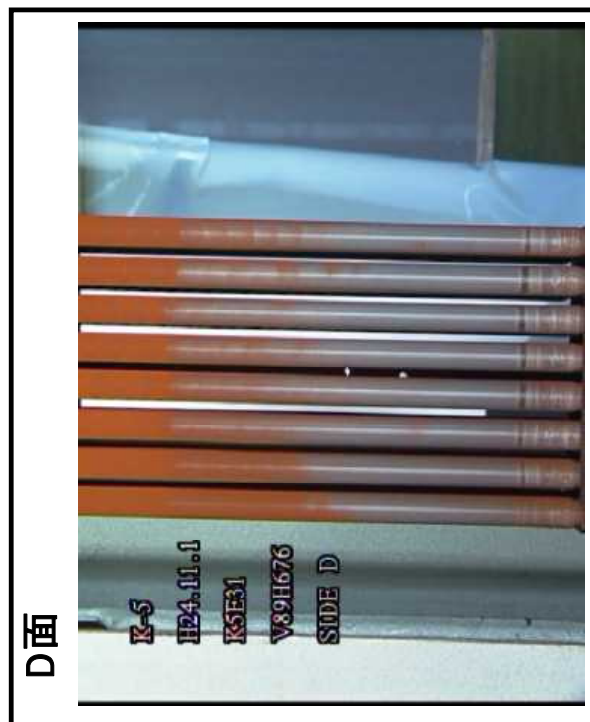
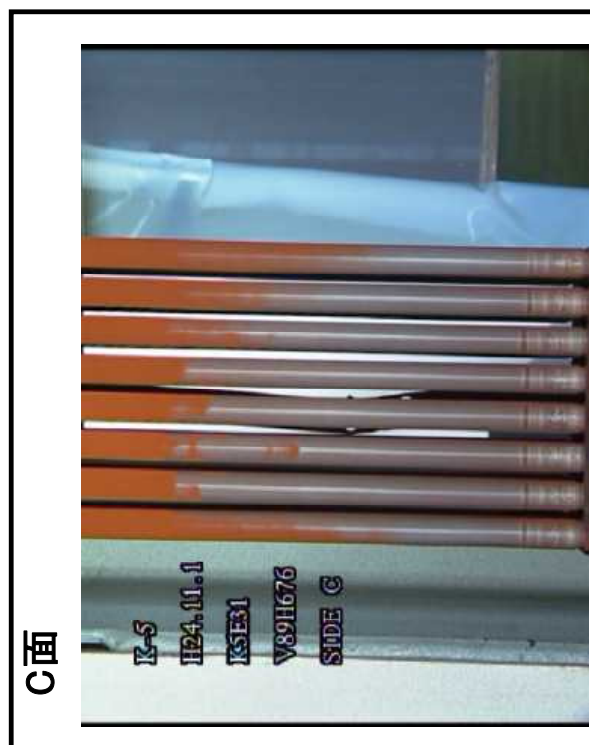
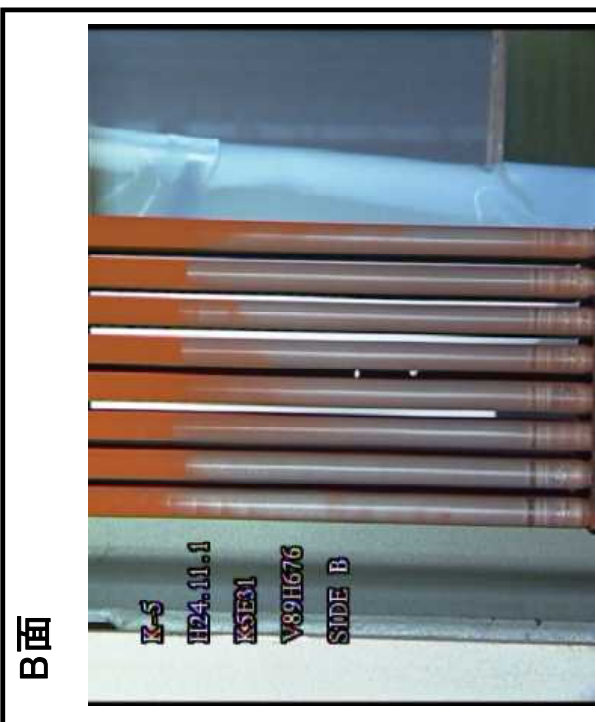
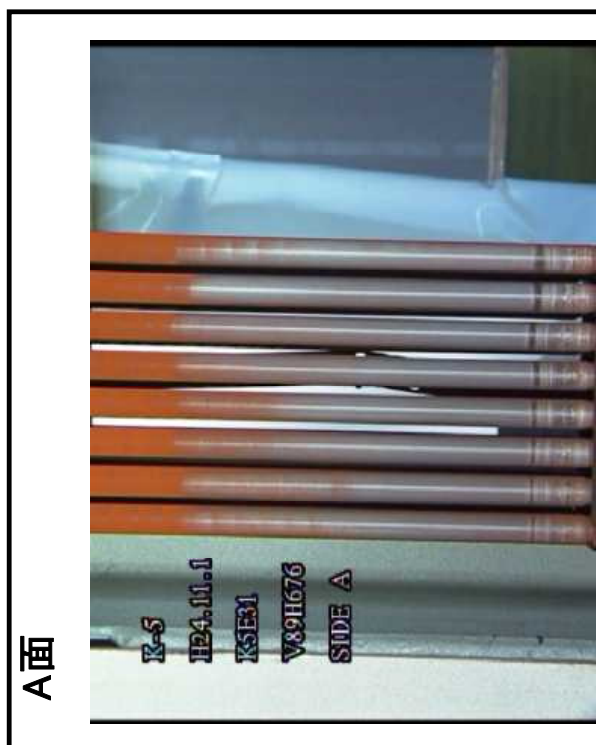
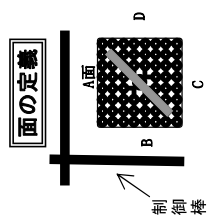
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E24)
1/2



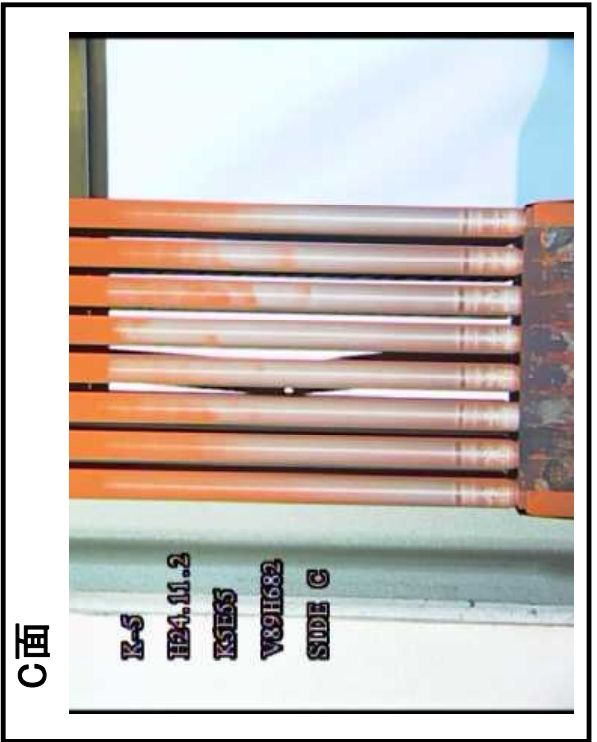
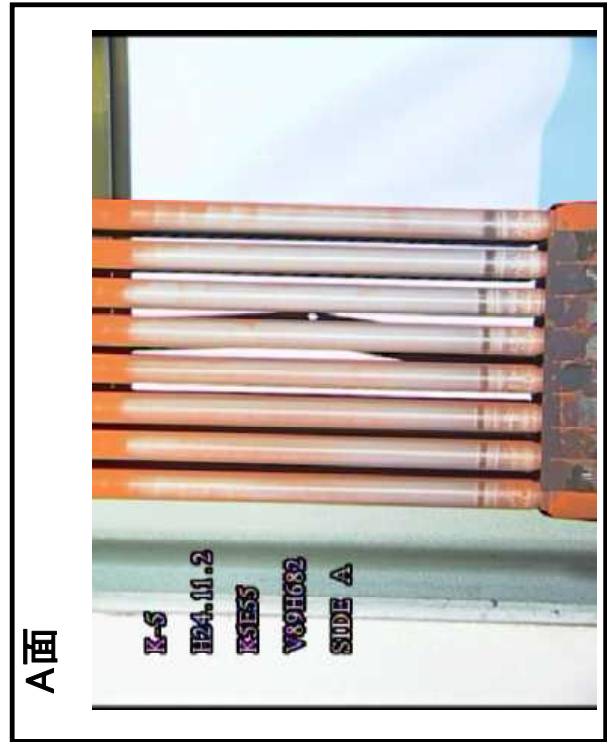
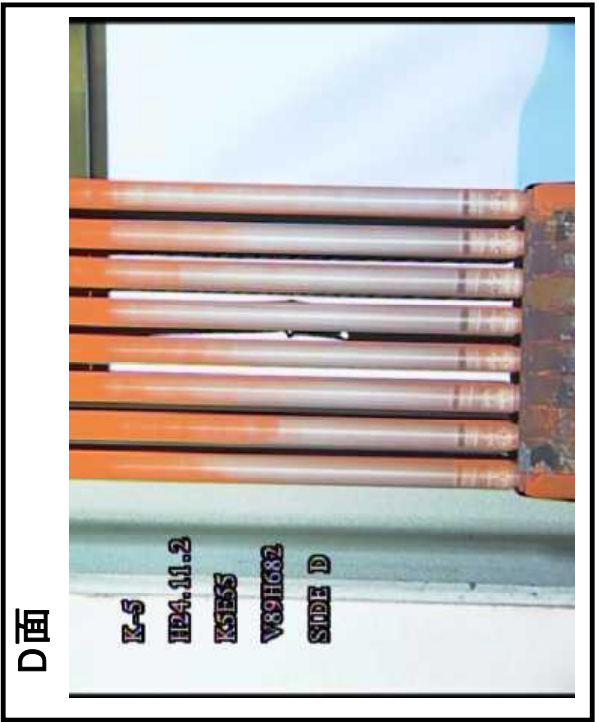
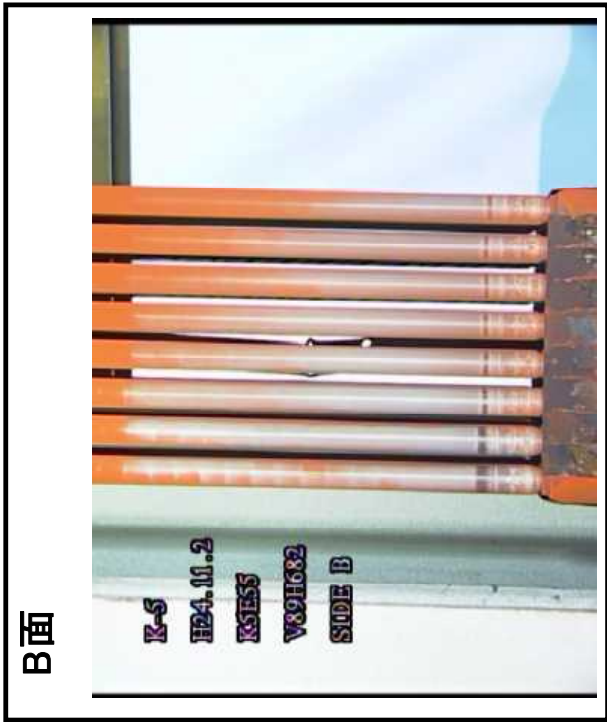
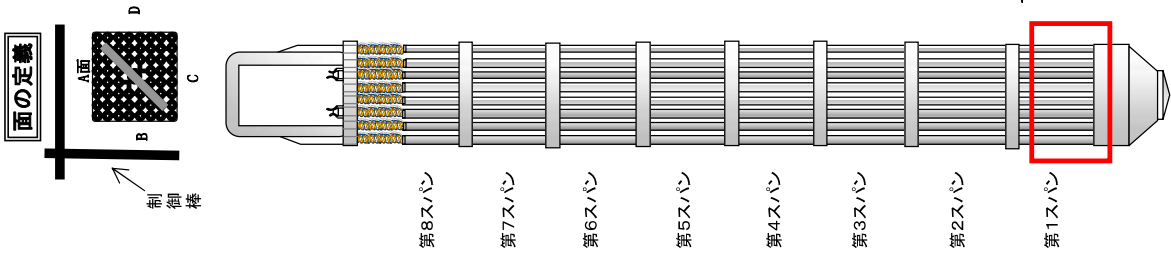
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E24)
2/2



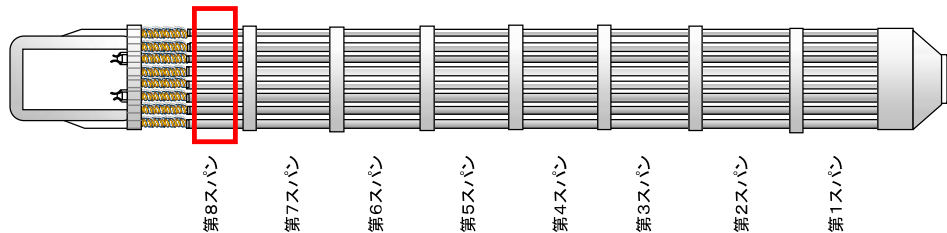
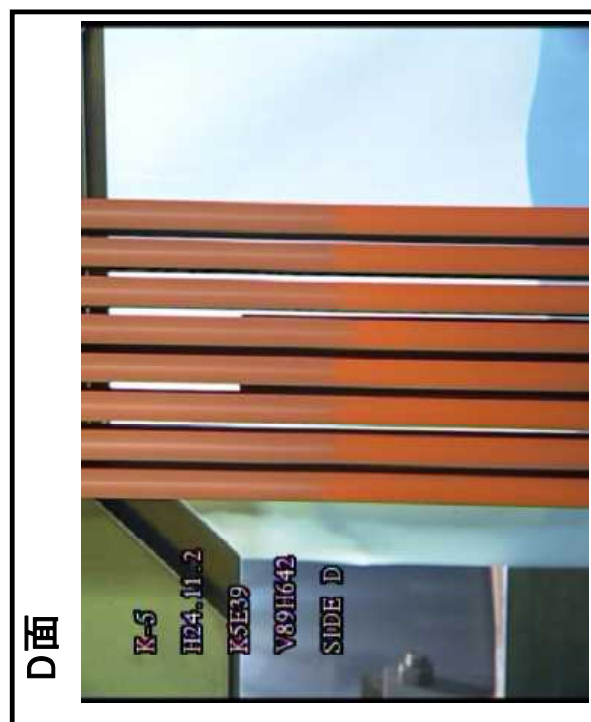
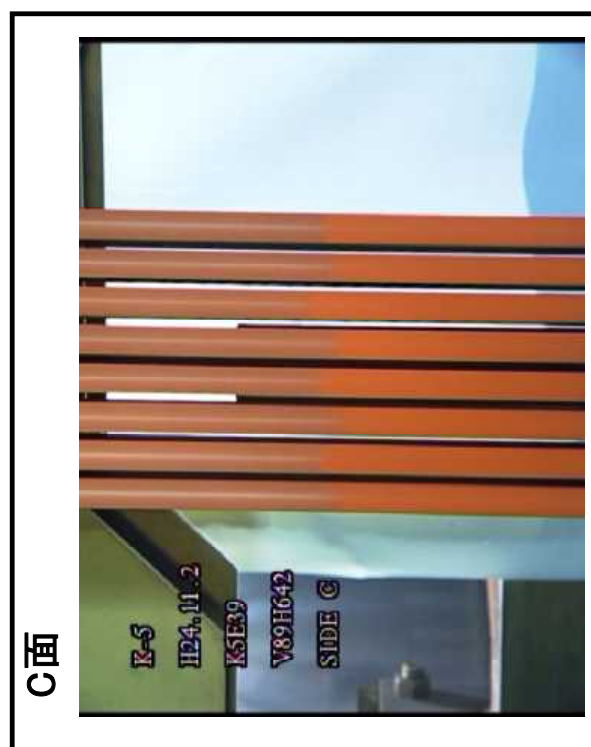
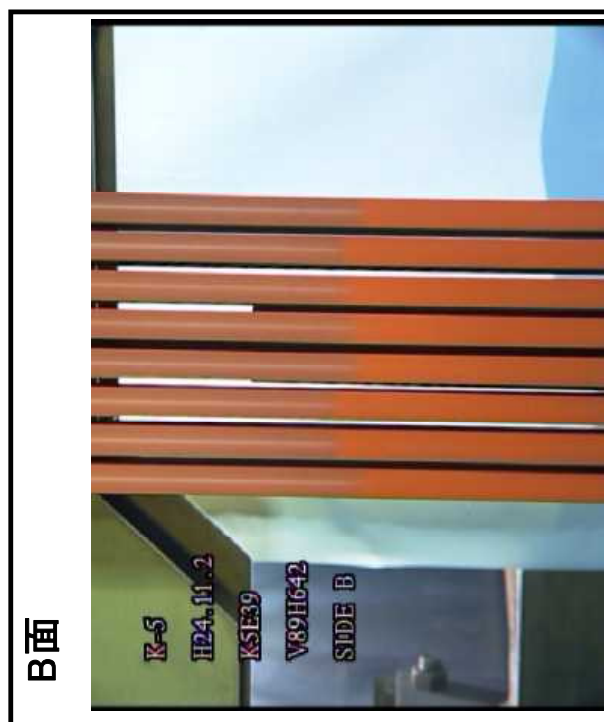
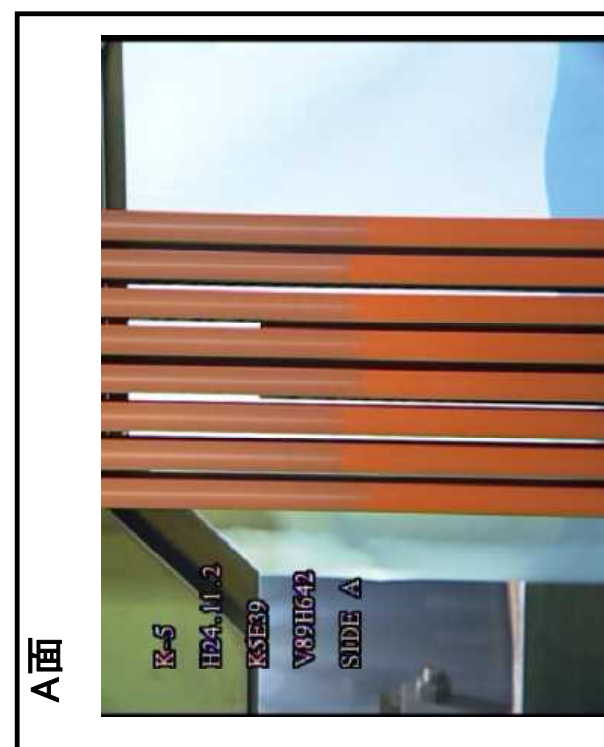
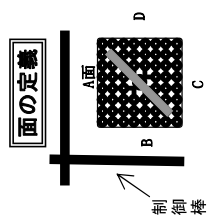
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E31)



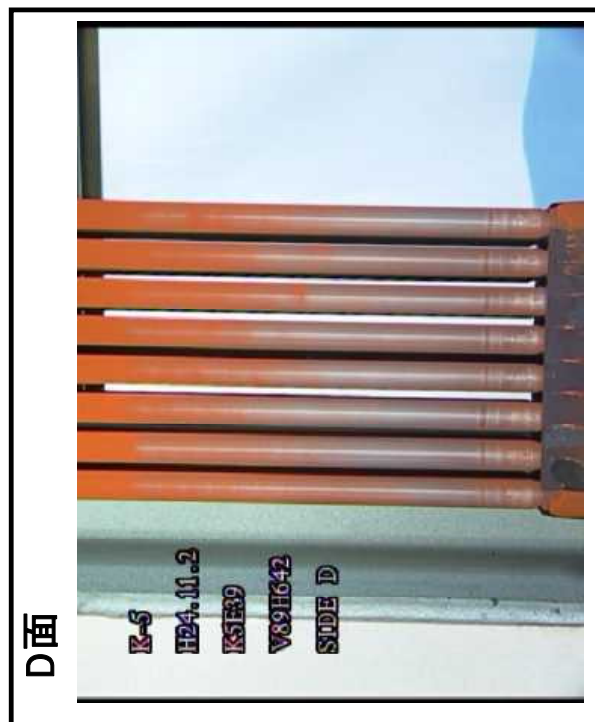
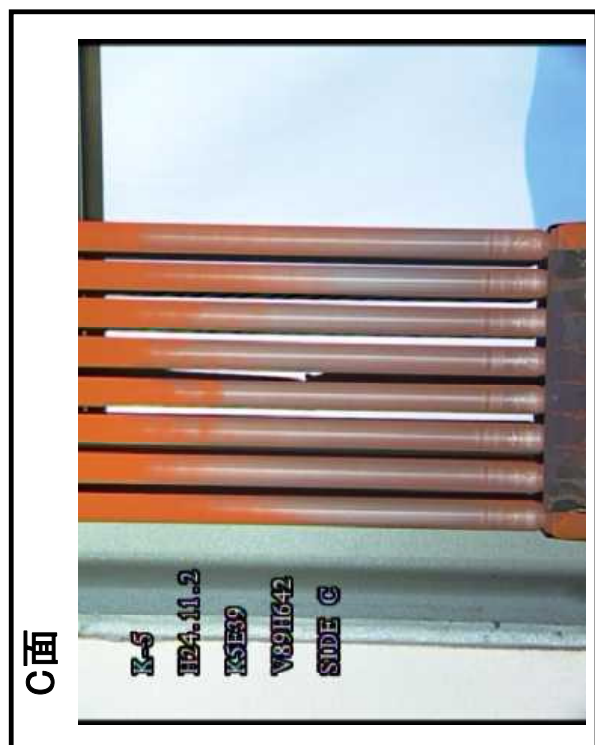
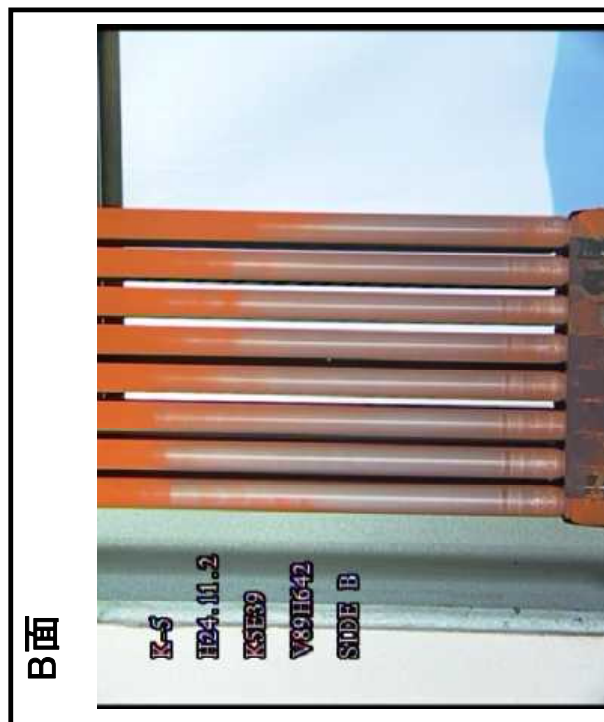
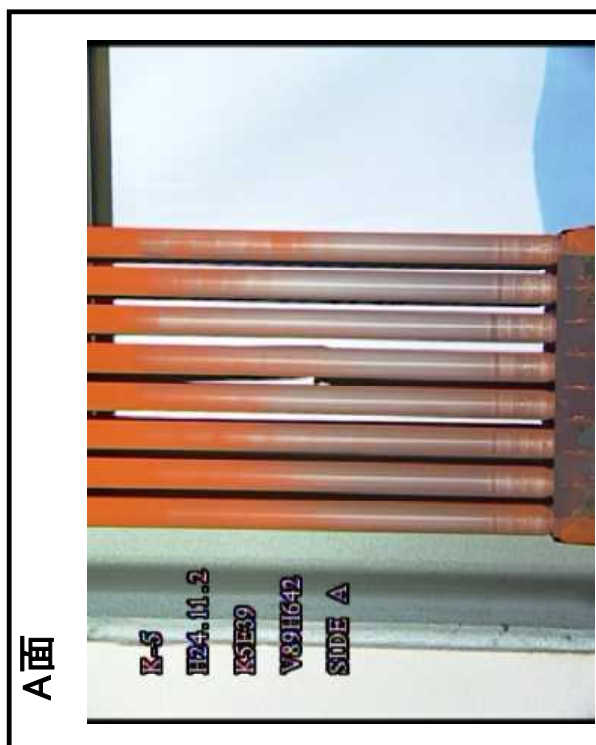
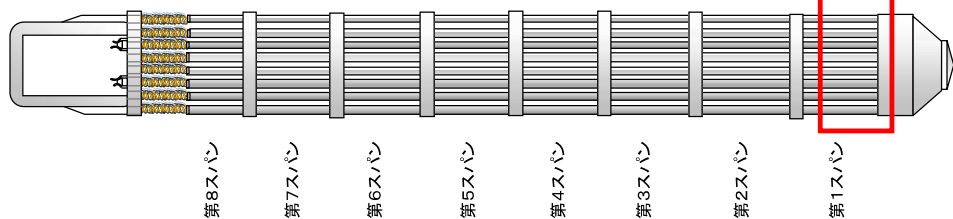
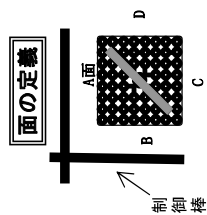
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E55)



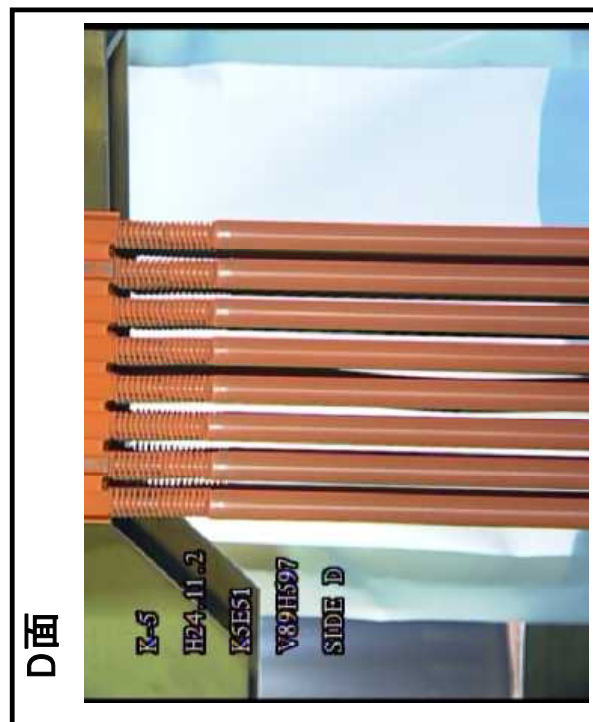
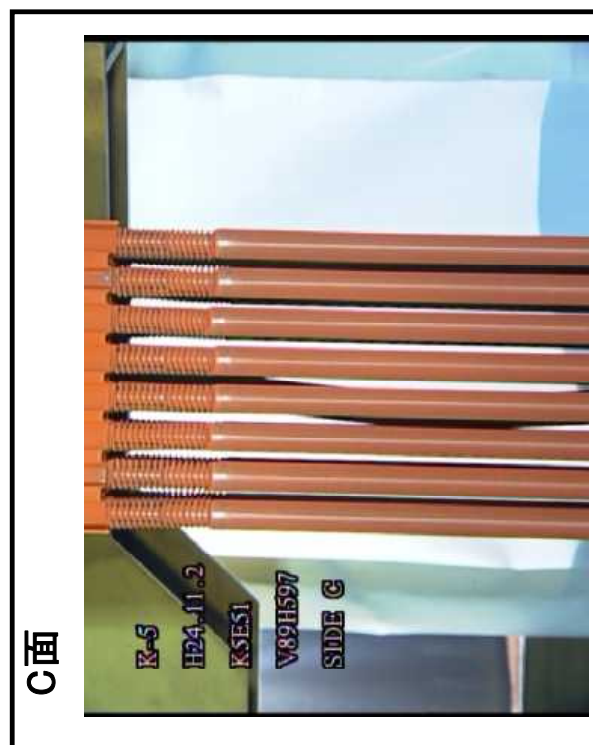
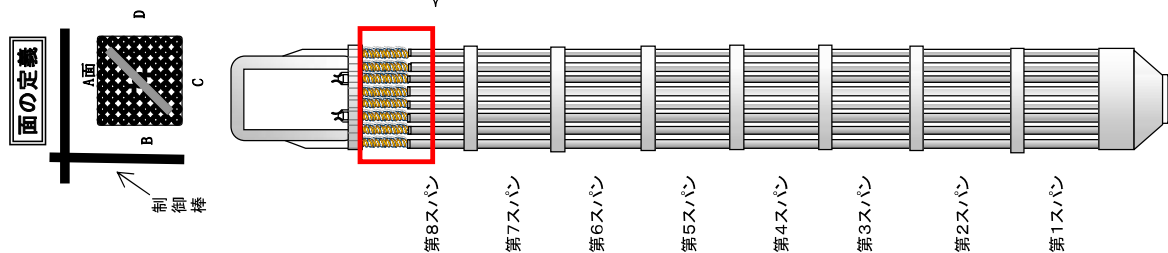
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E39)
1/2



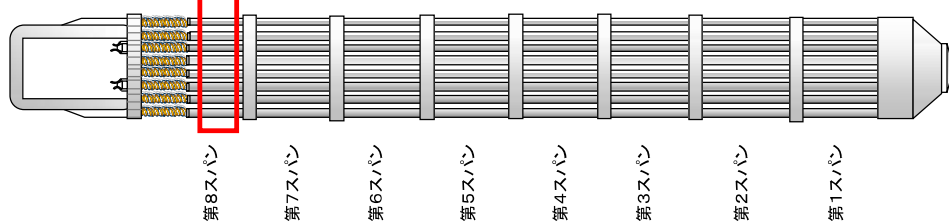
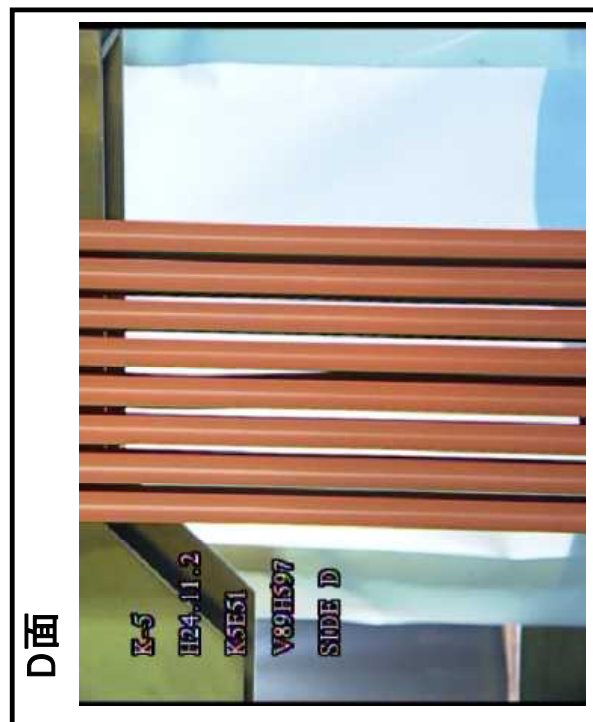
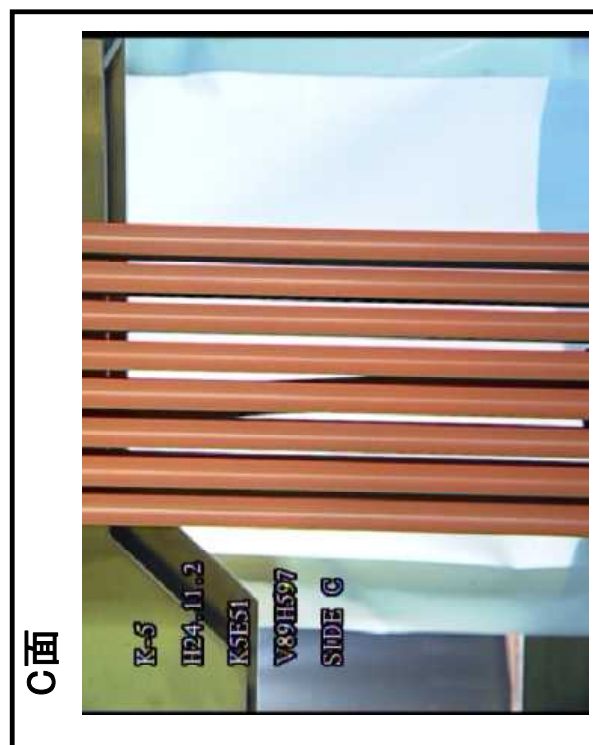
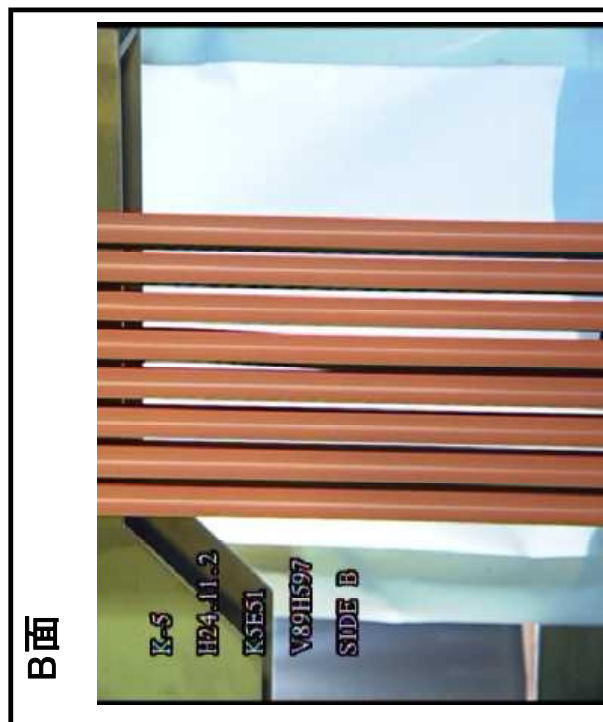
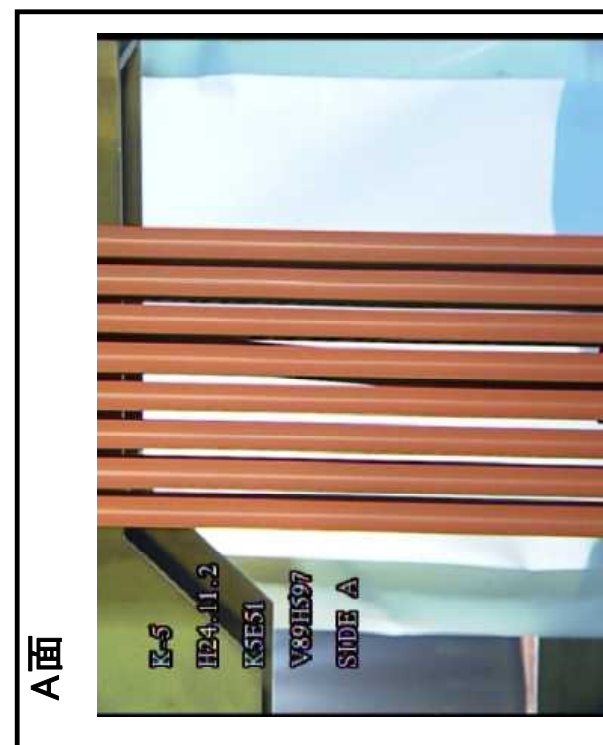
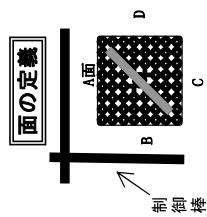
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E39)
2/2



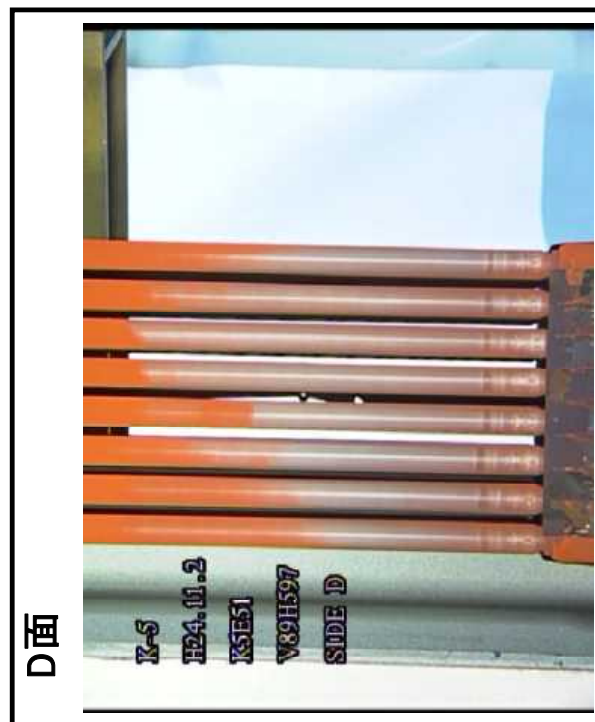
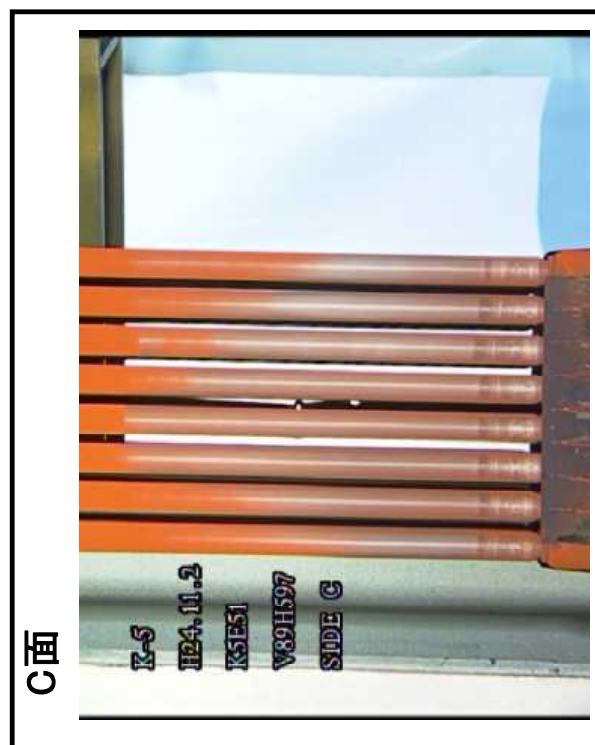
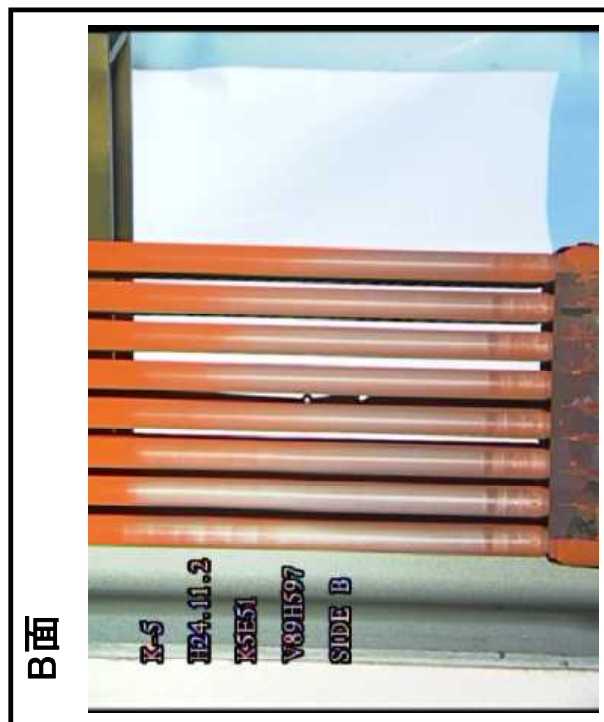
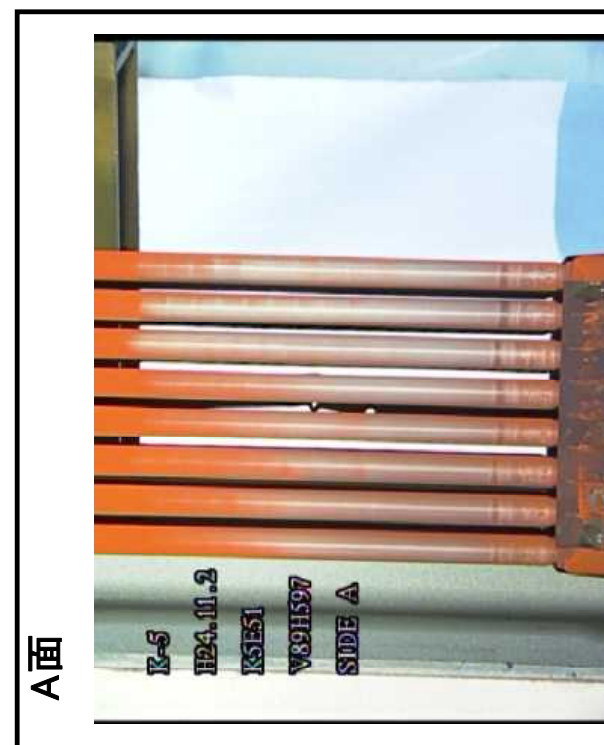
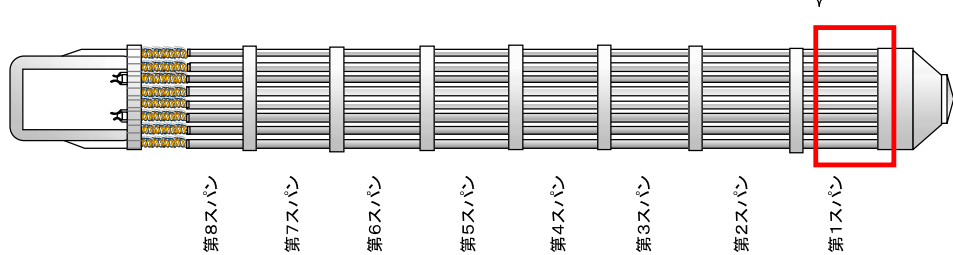
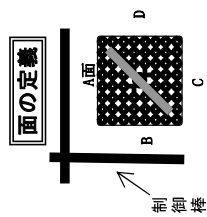
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E51)
1/3



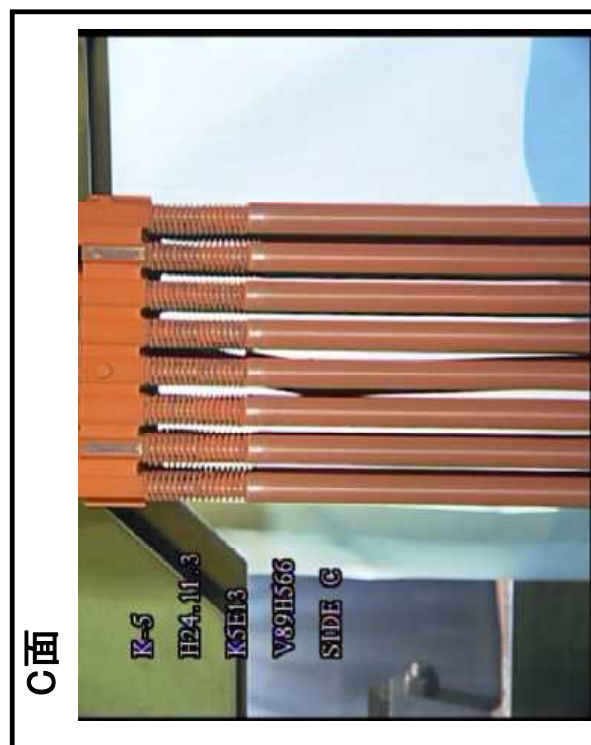
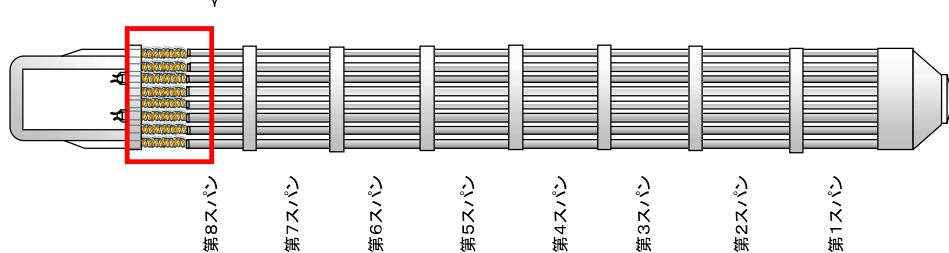
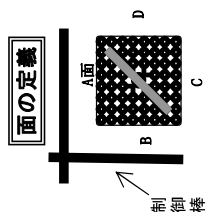
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E51)
2/3



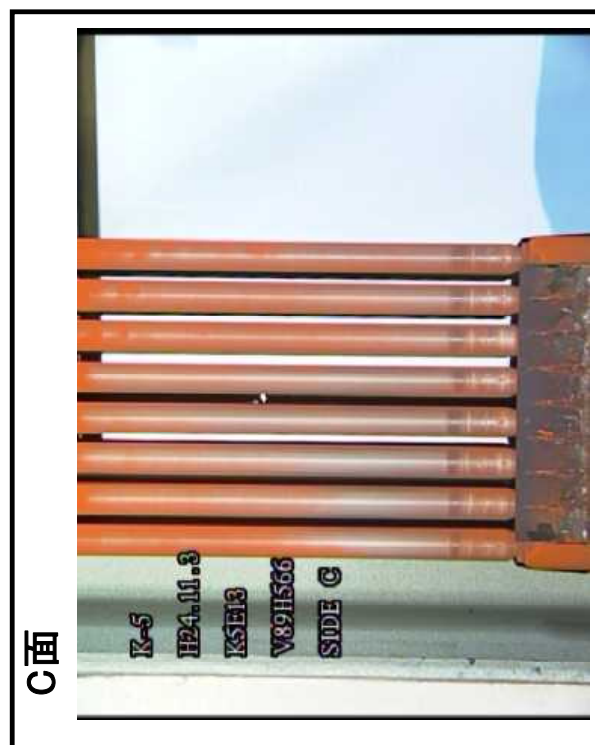
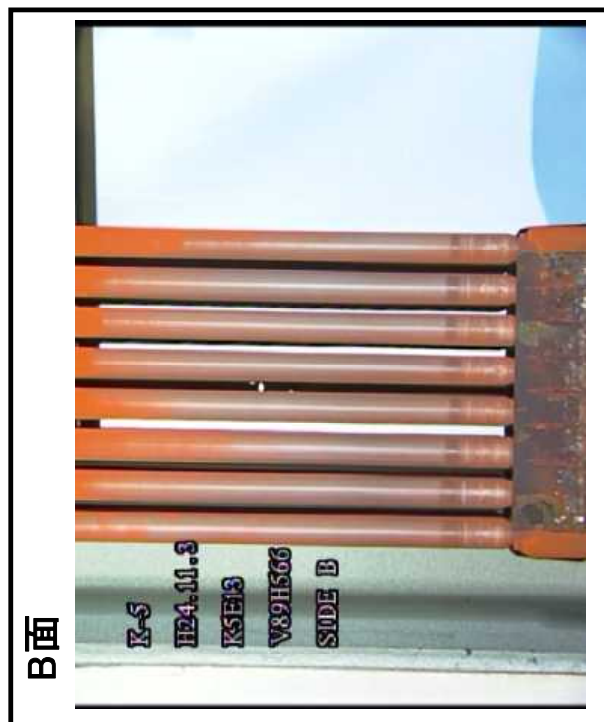
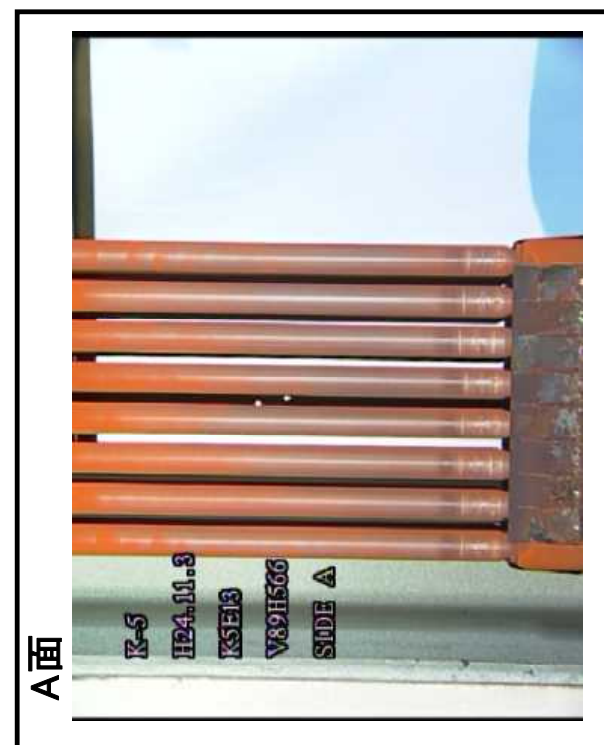
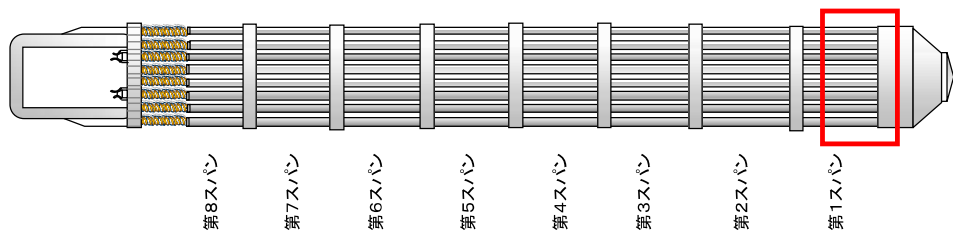
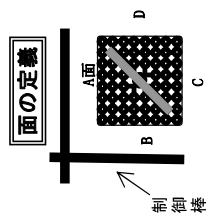
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E51)
3/3



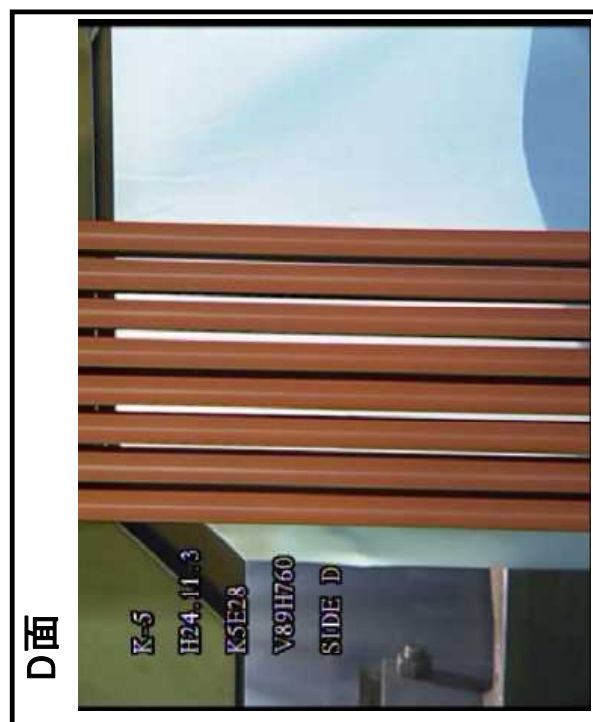
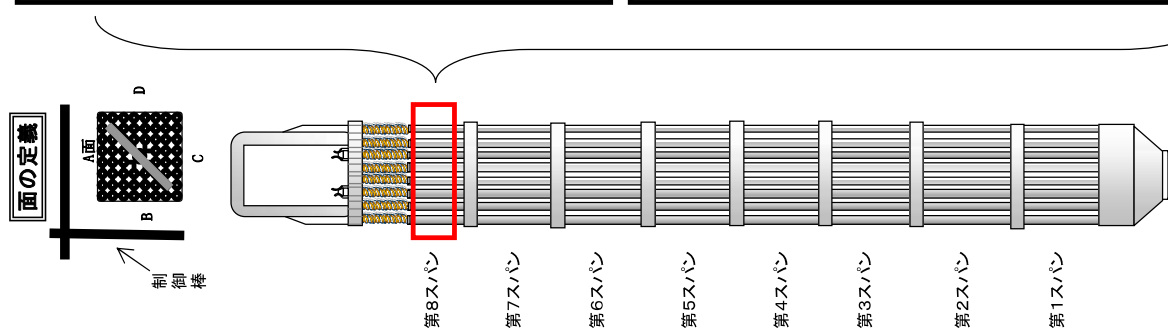
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E13)
1/2



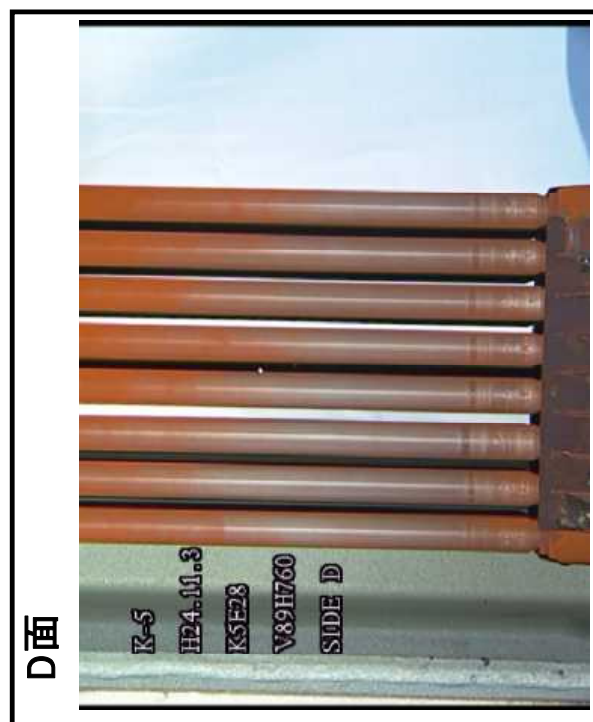
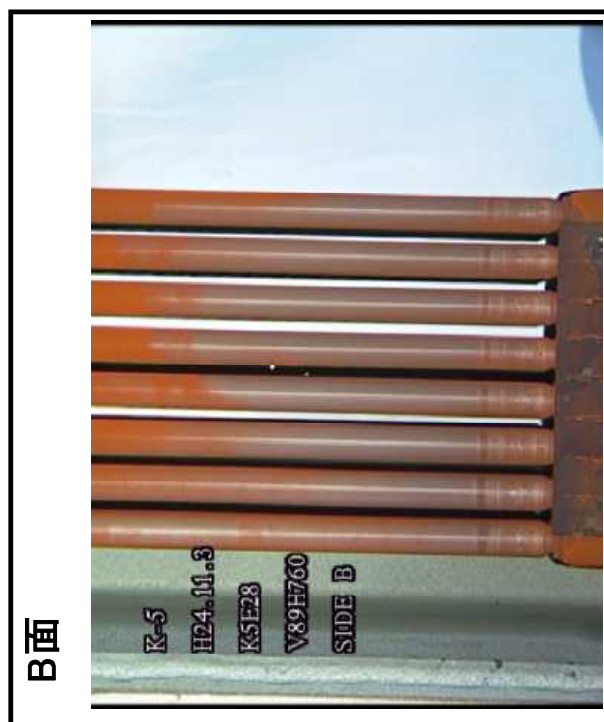
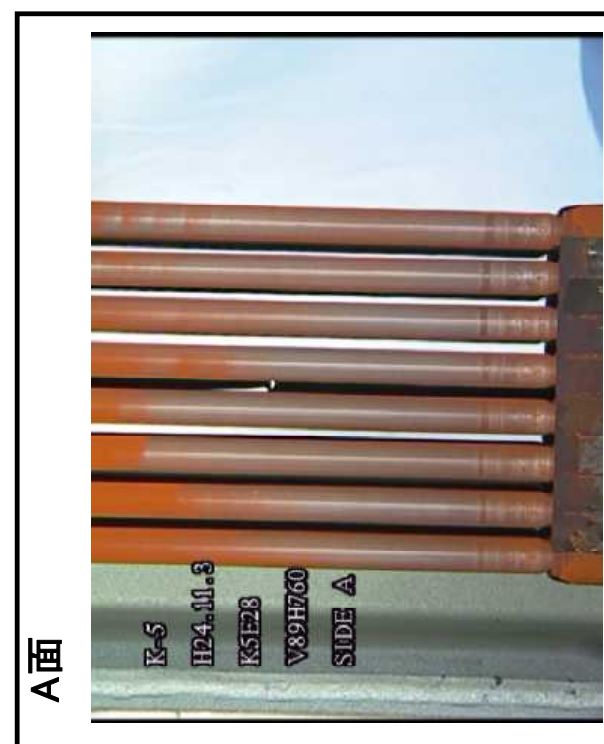
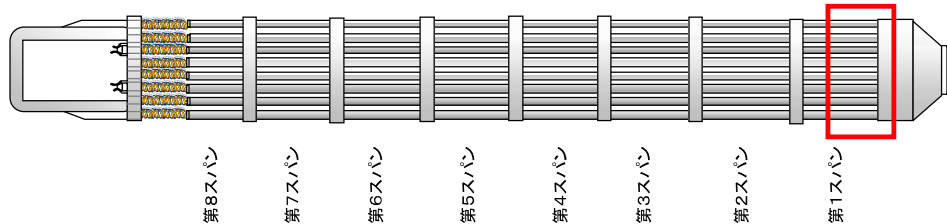
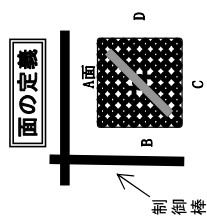
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E13)
2/2



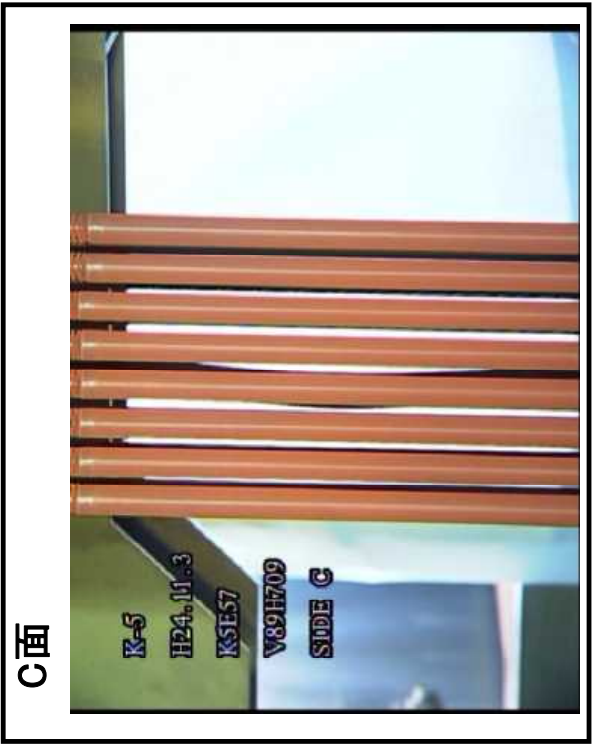
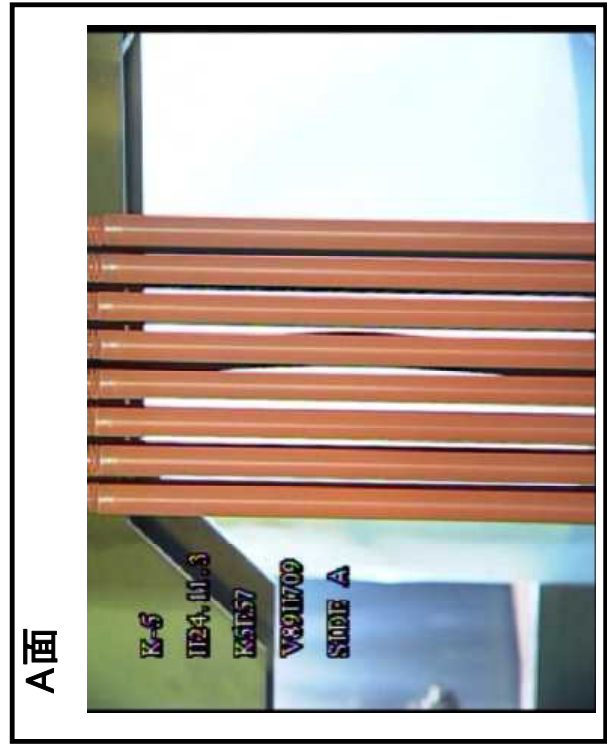
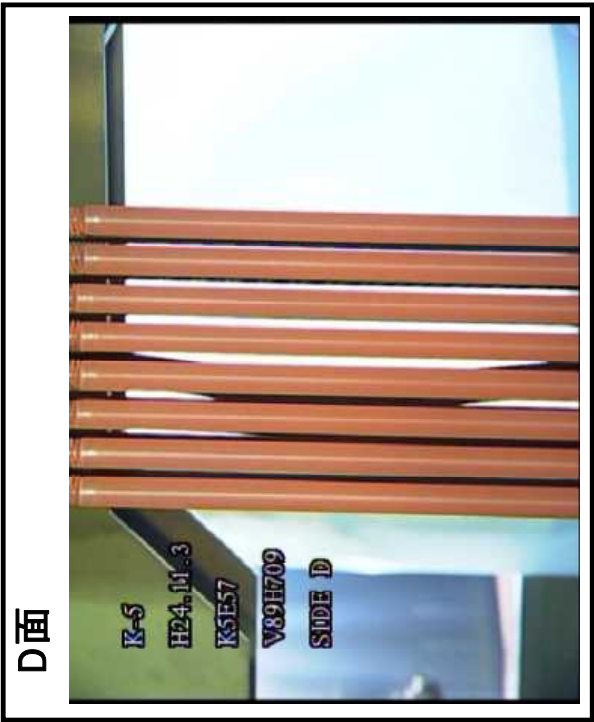
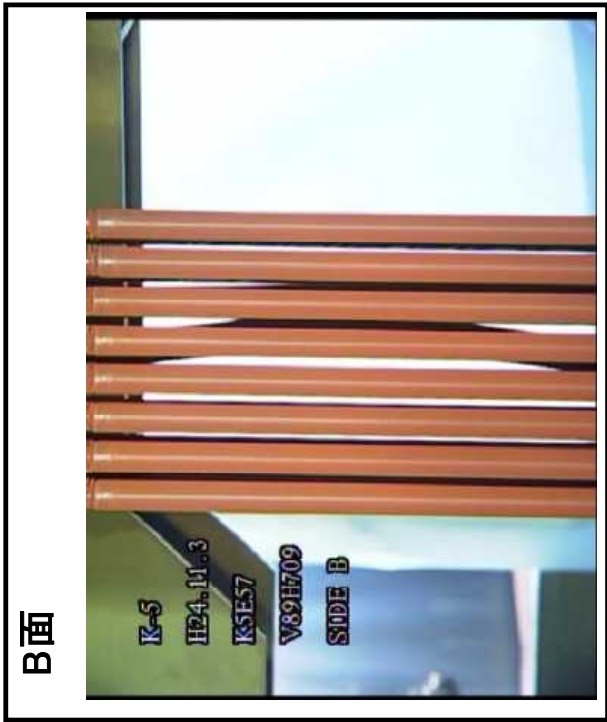
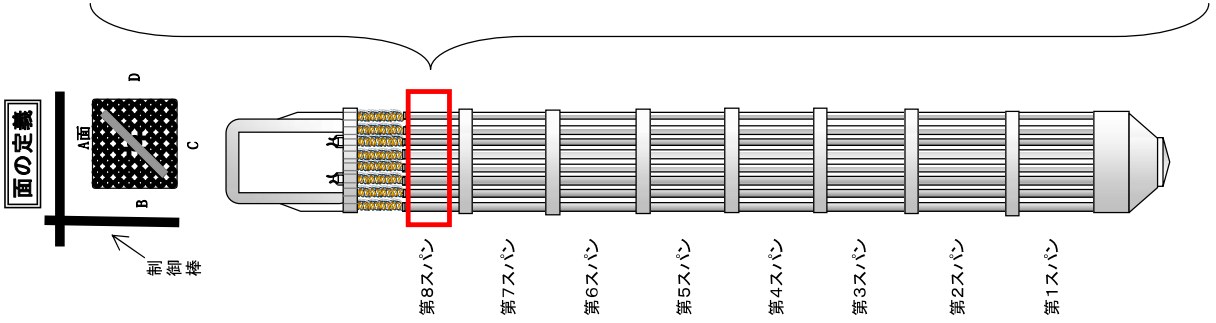
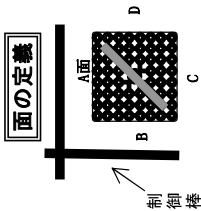
ウォーター・ロードに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E28)
1/2



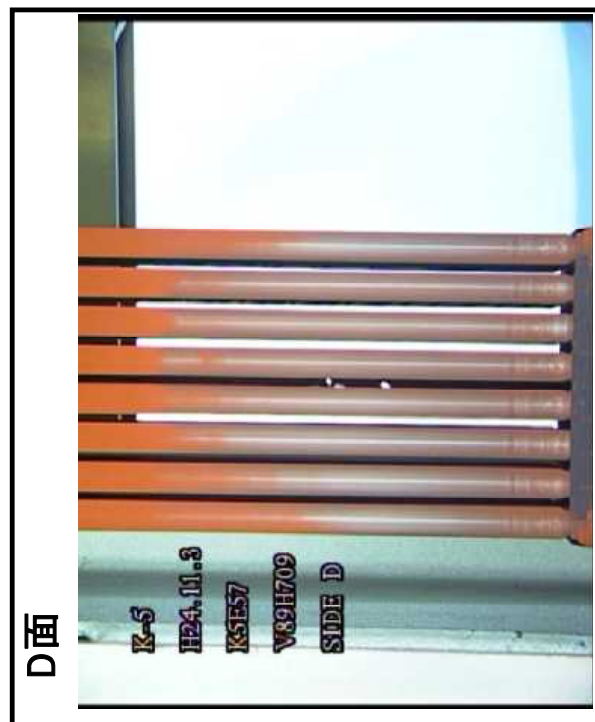
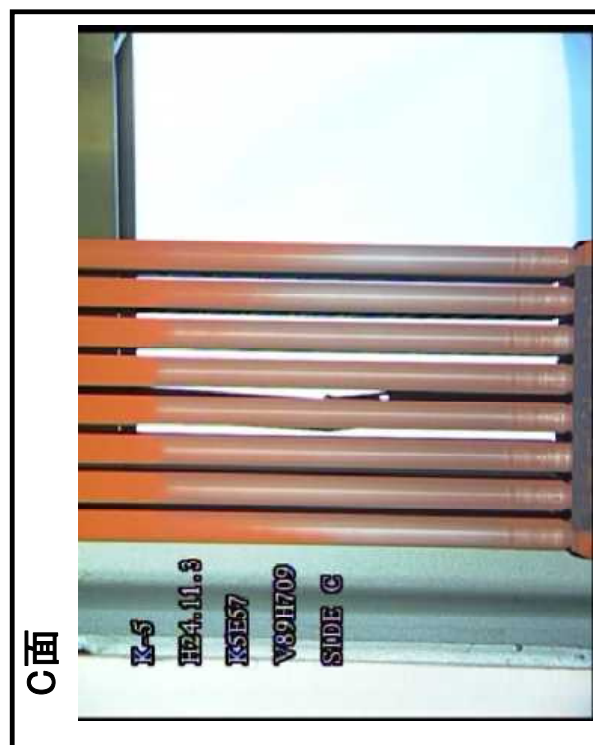
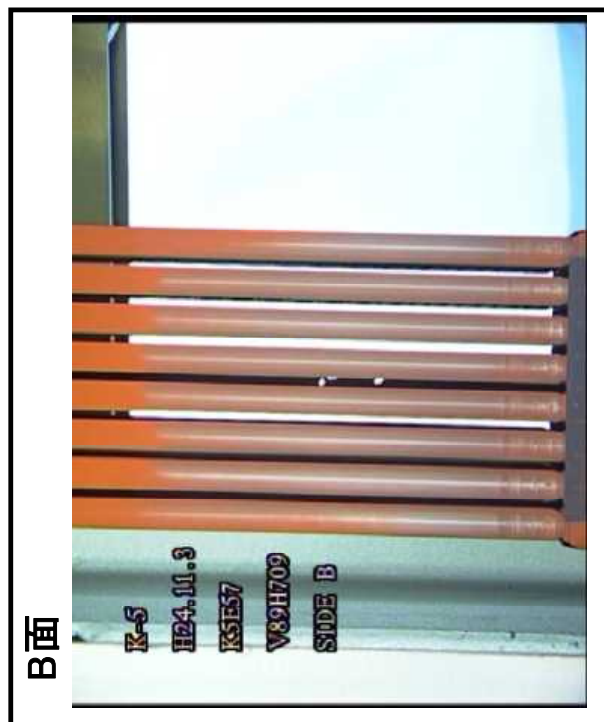
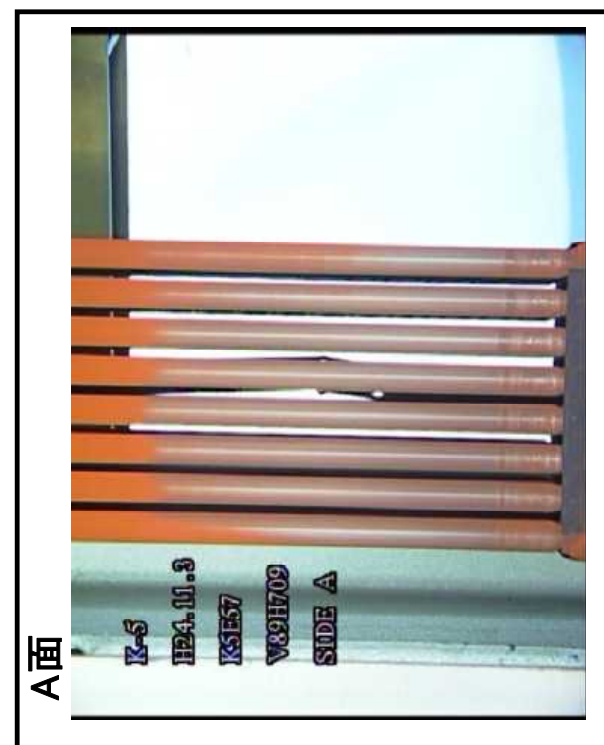
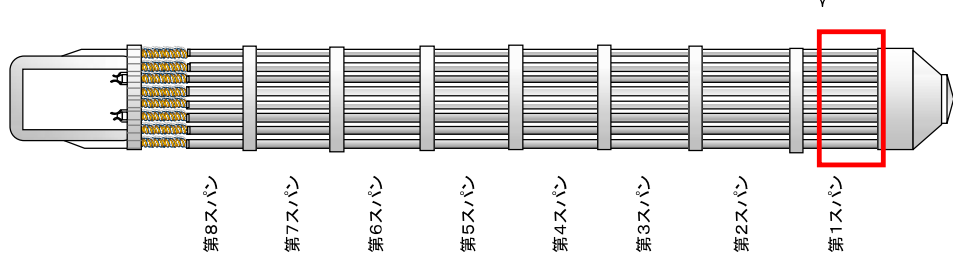
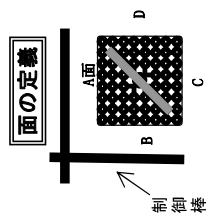
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E28)
2/2



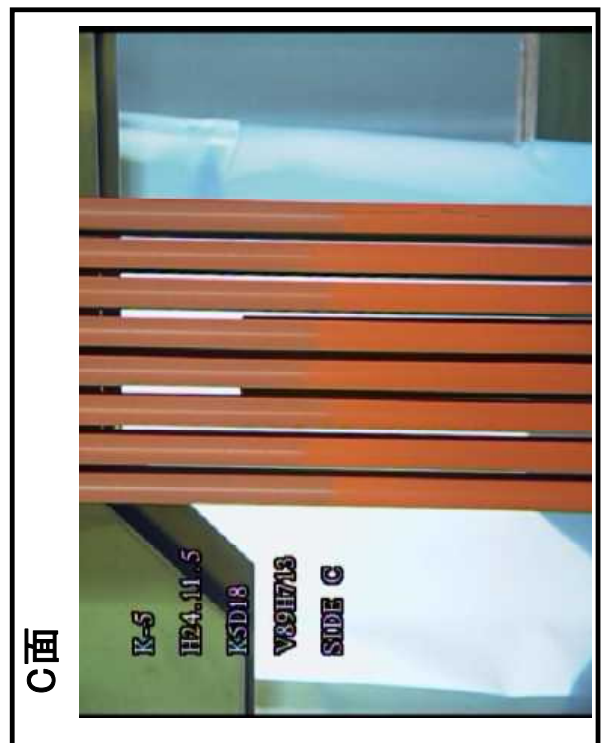
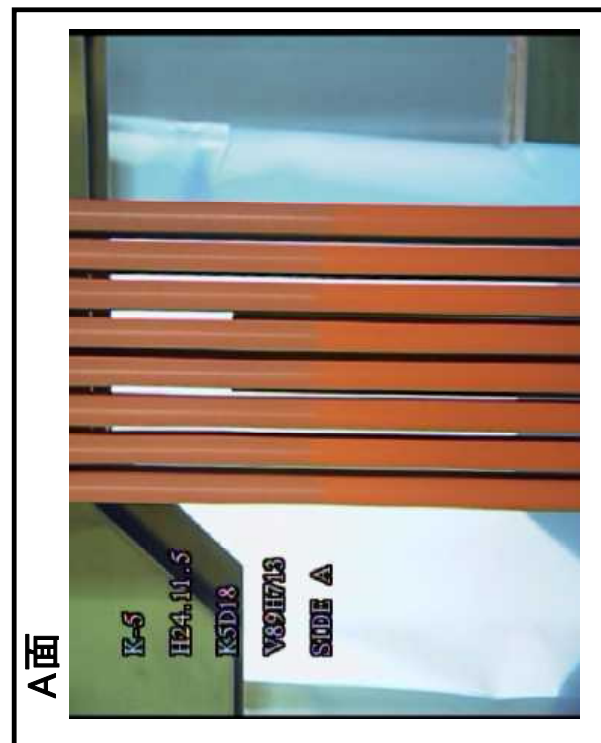
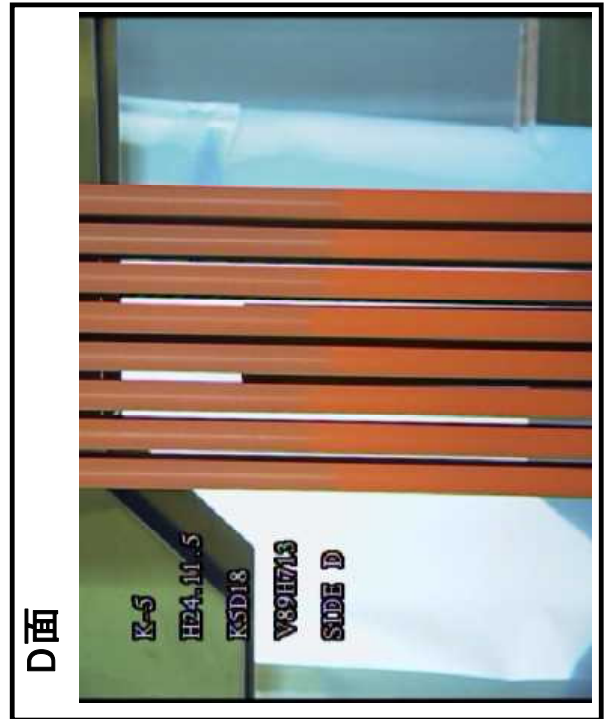
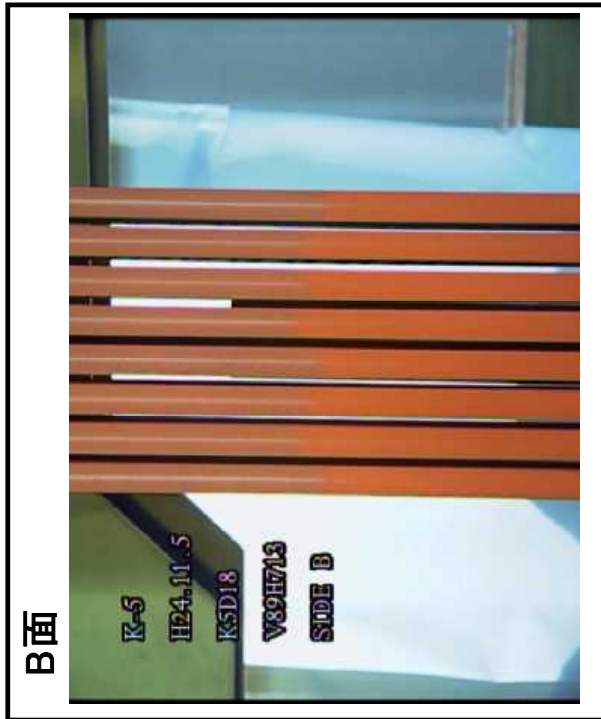
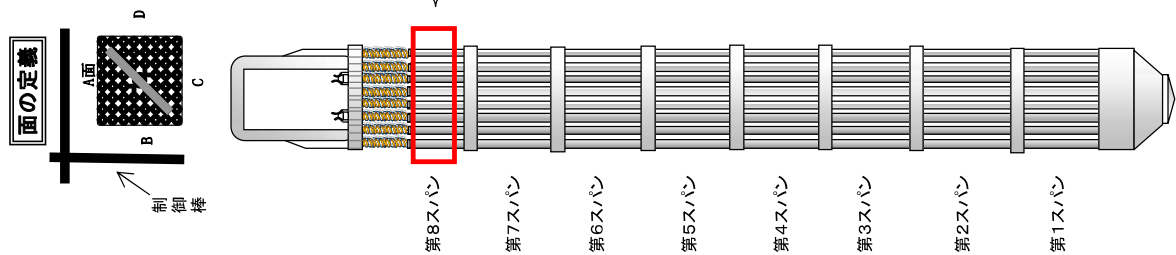
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E57)
1/2



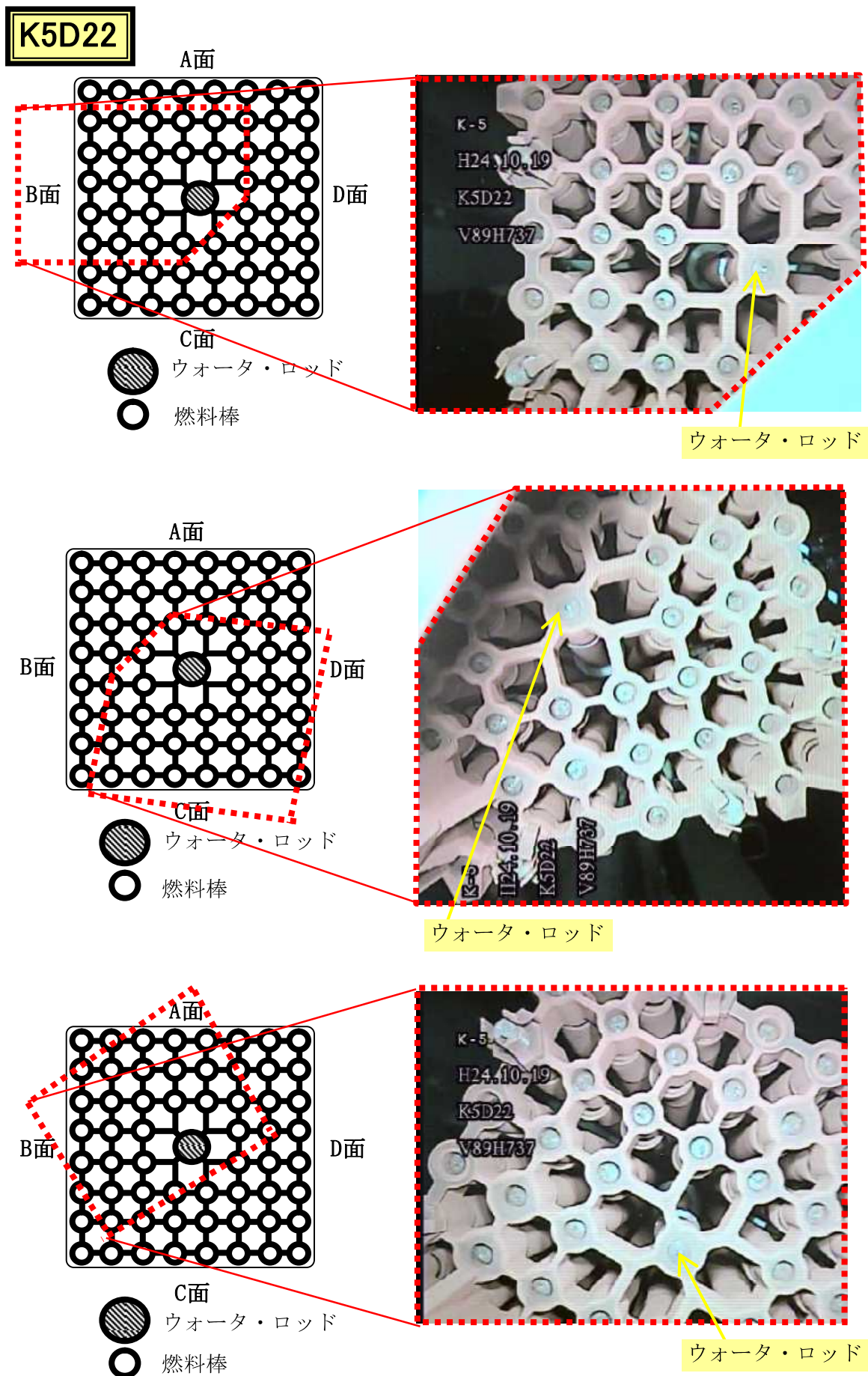
ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5E57)
2/2



ウォーター・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の側方からの外観
(K5D18)

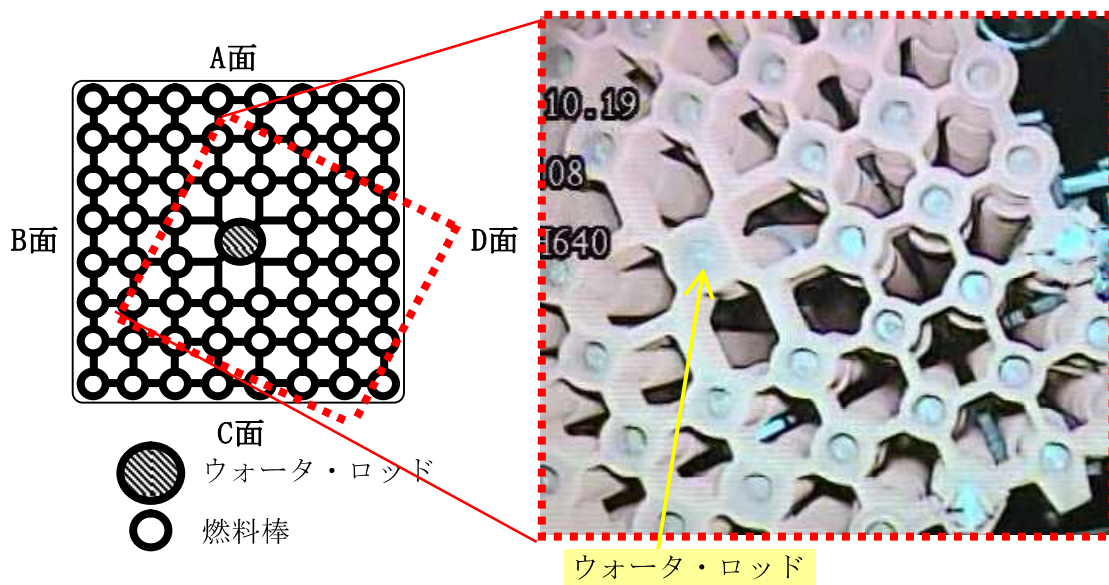
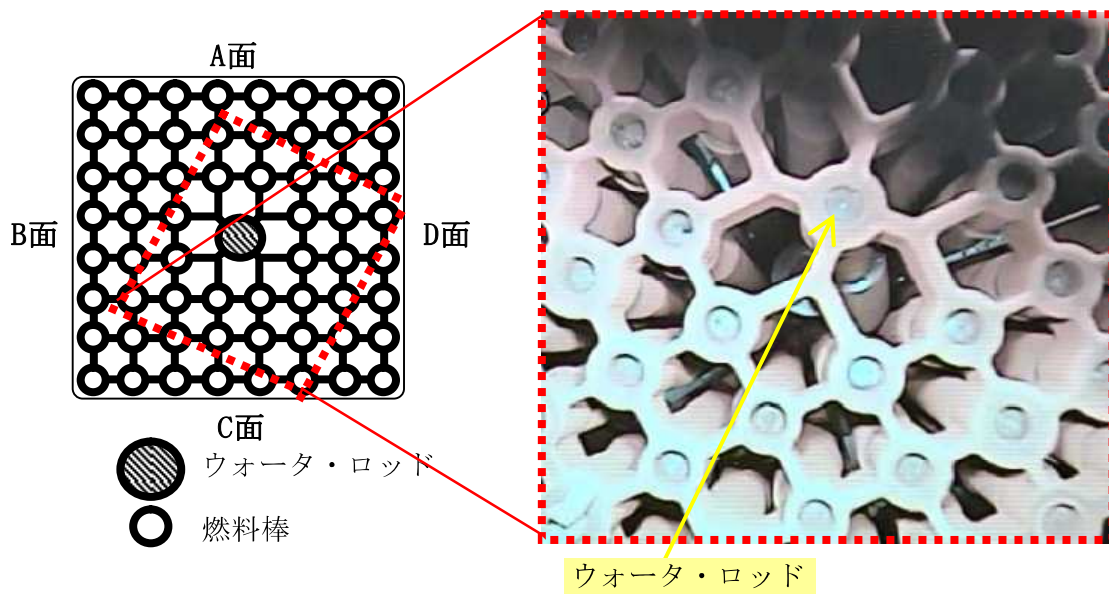
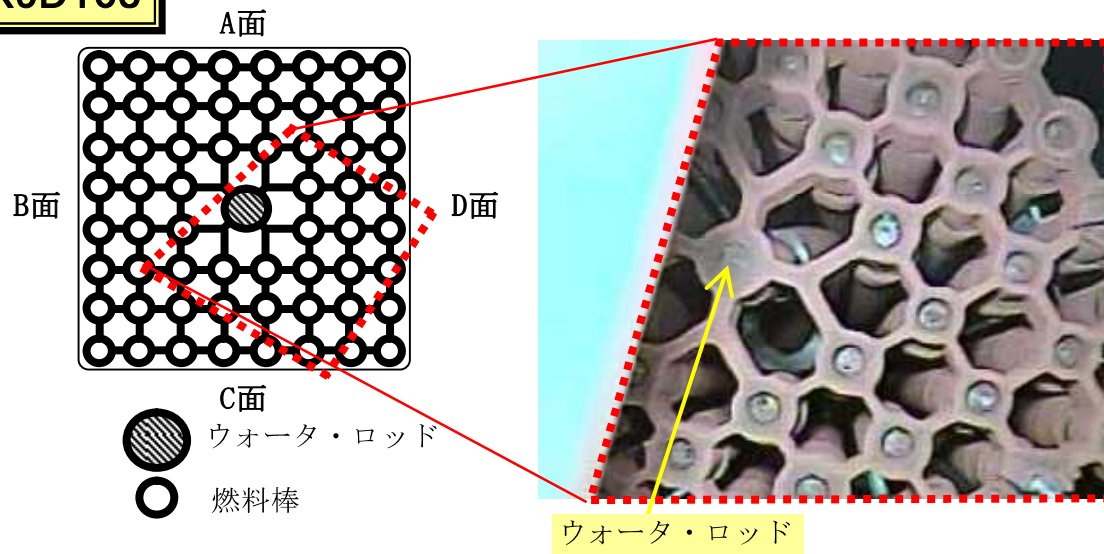


ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



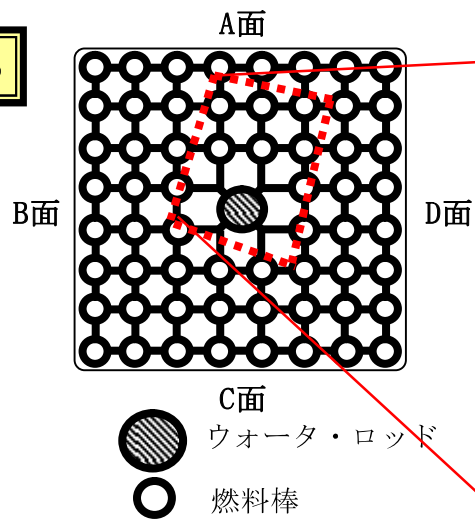
ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観

K5D108



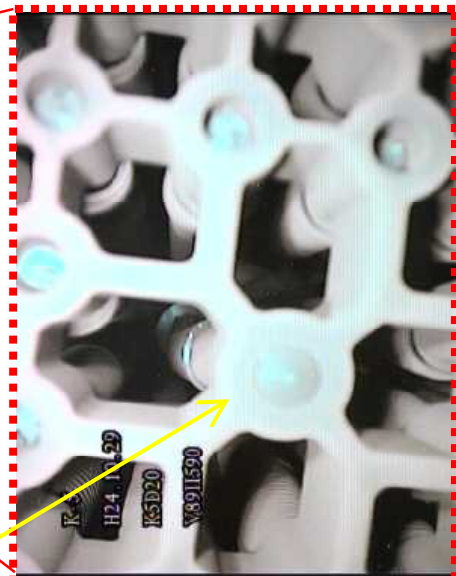
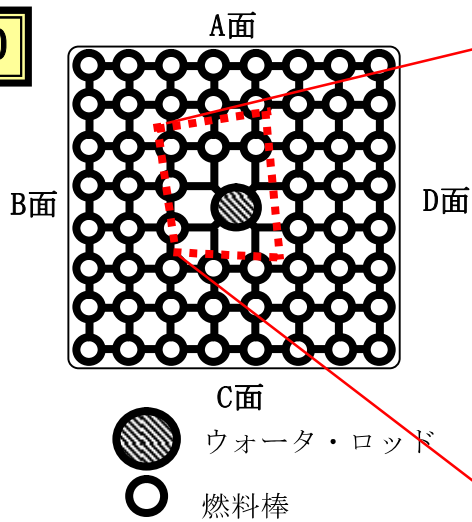
ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観

K5D28



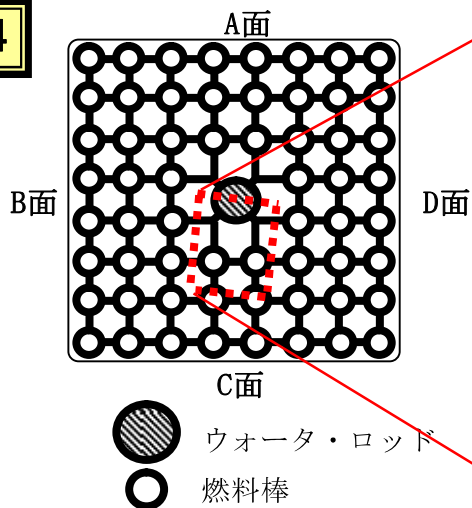
ウォータ・ロッド

K5D20



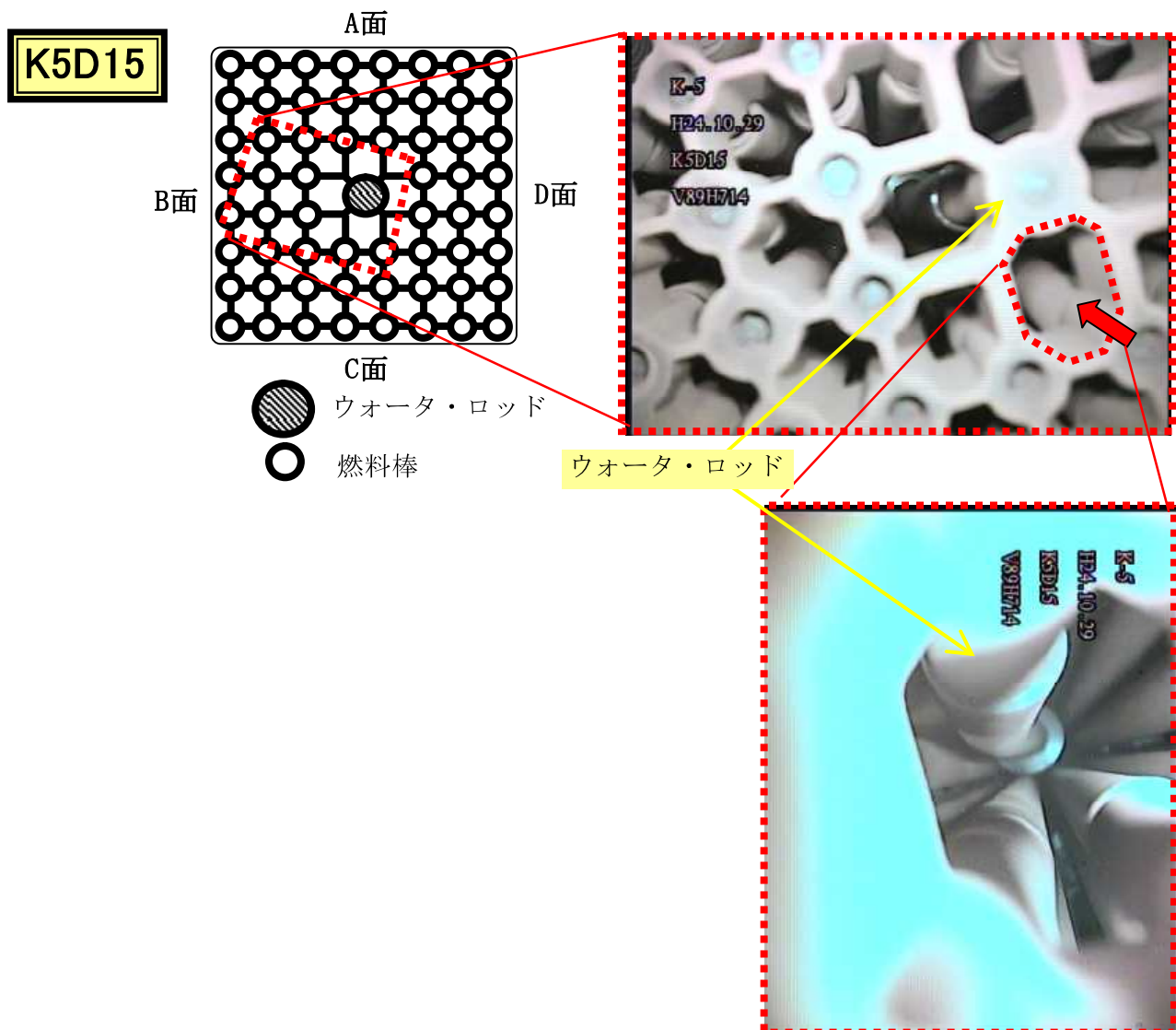
ウォータ・ロッド

K5D14

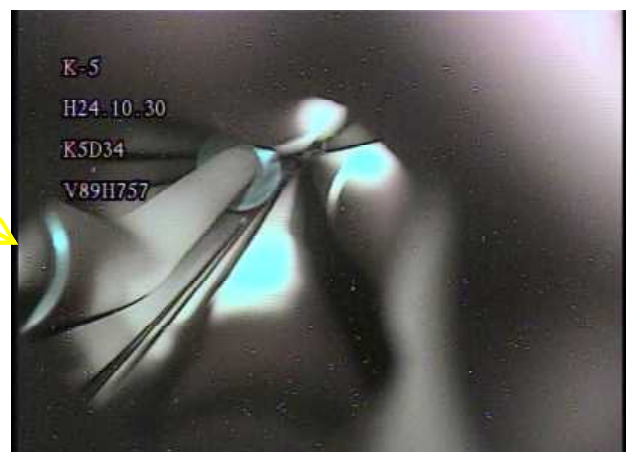
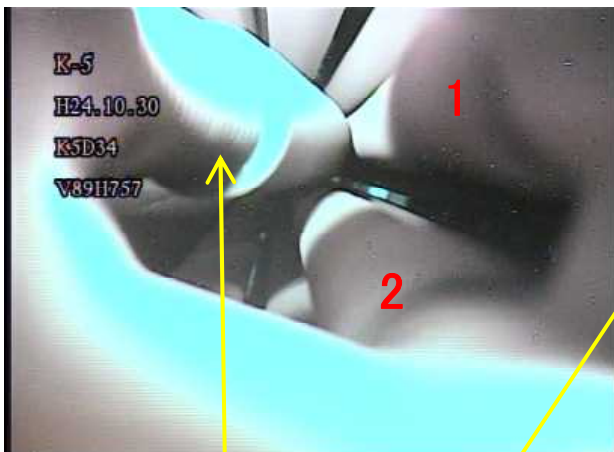
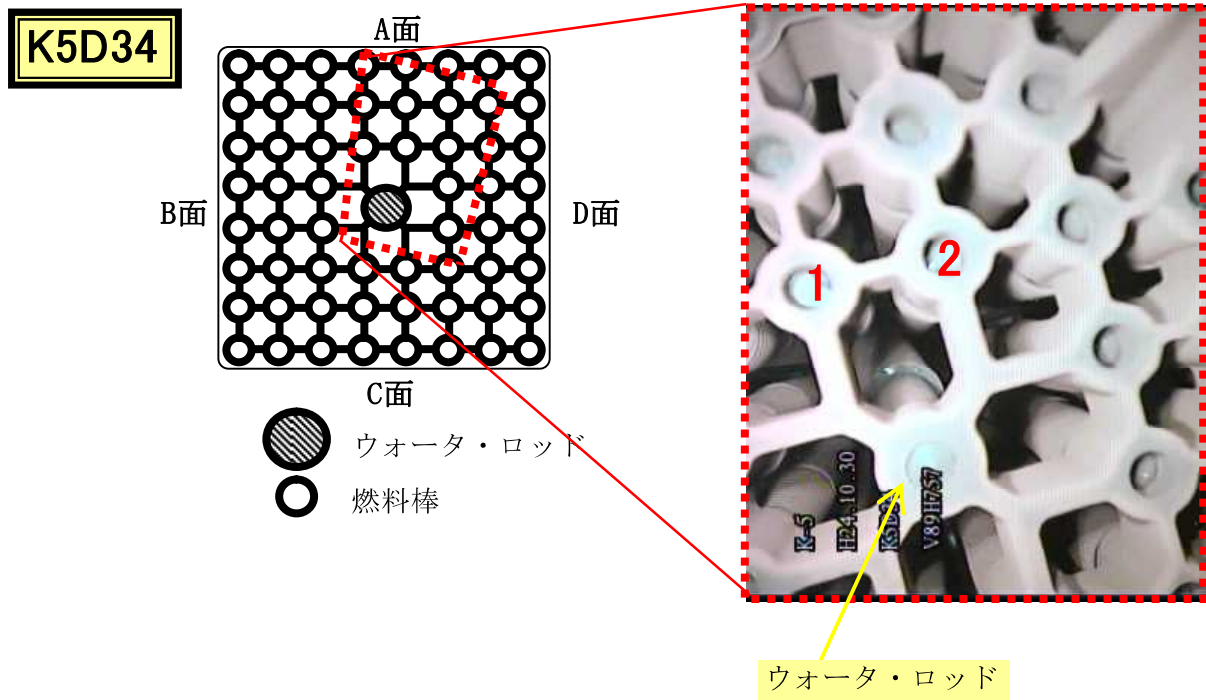


ウォータ・ロッド

ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観

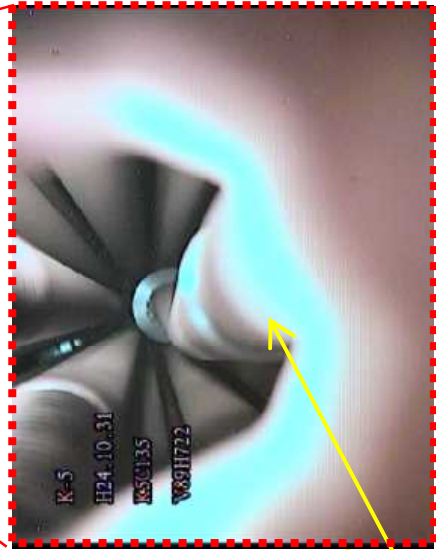
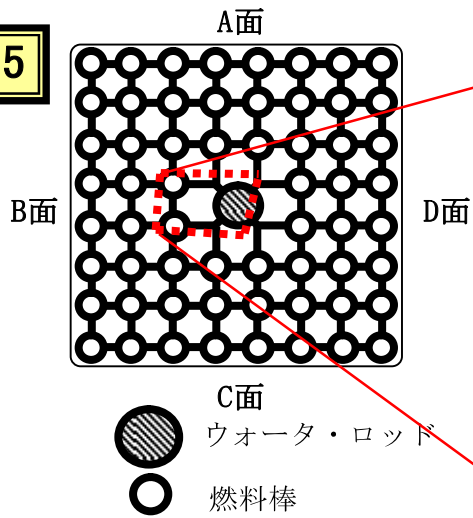


ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



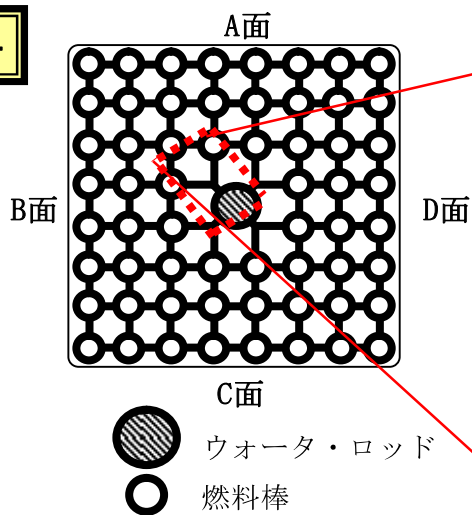
ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観

K5C135



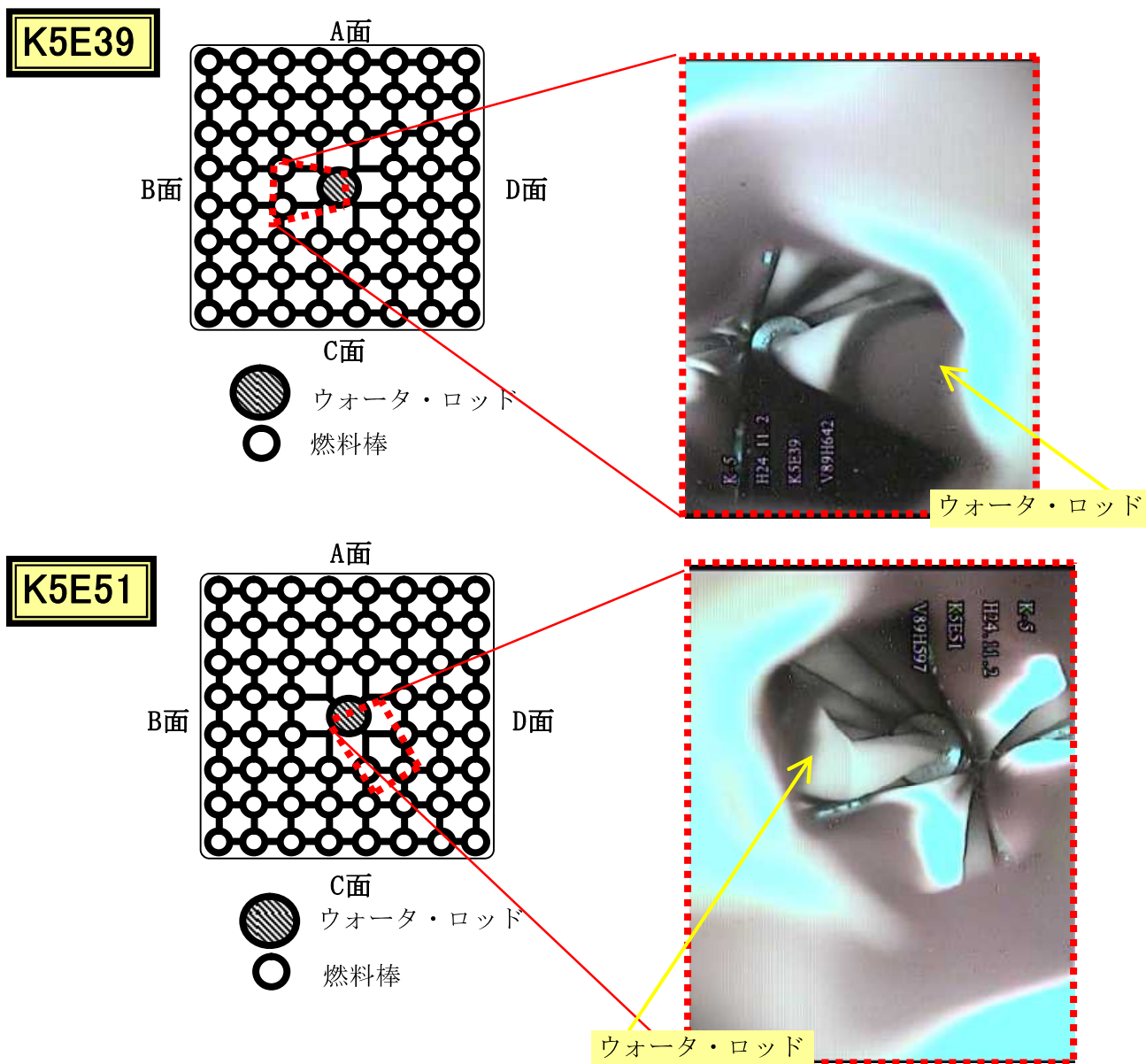
ウォータ・ロッド

K5E24

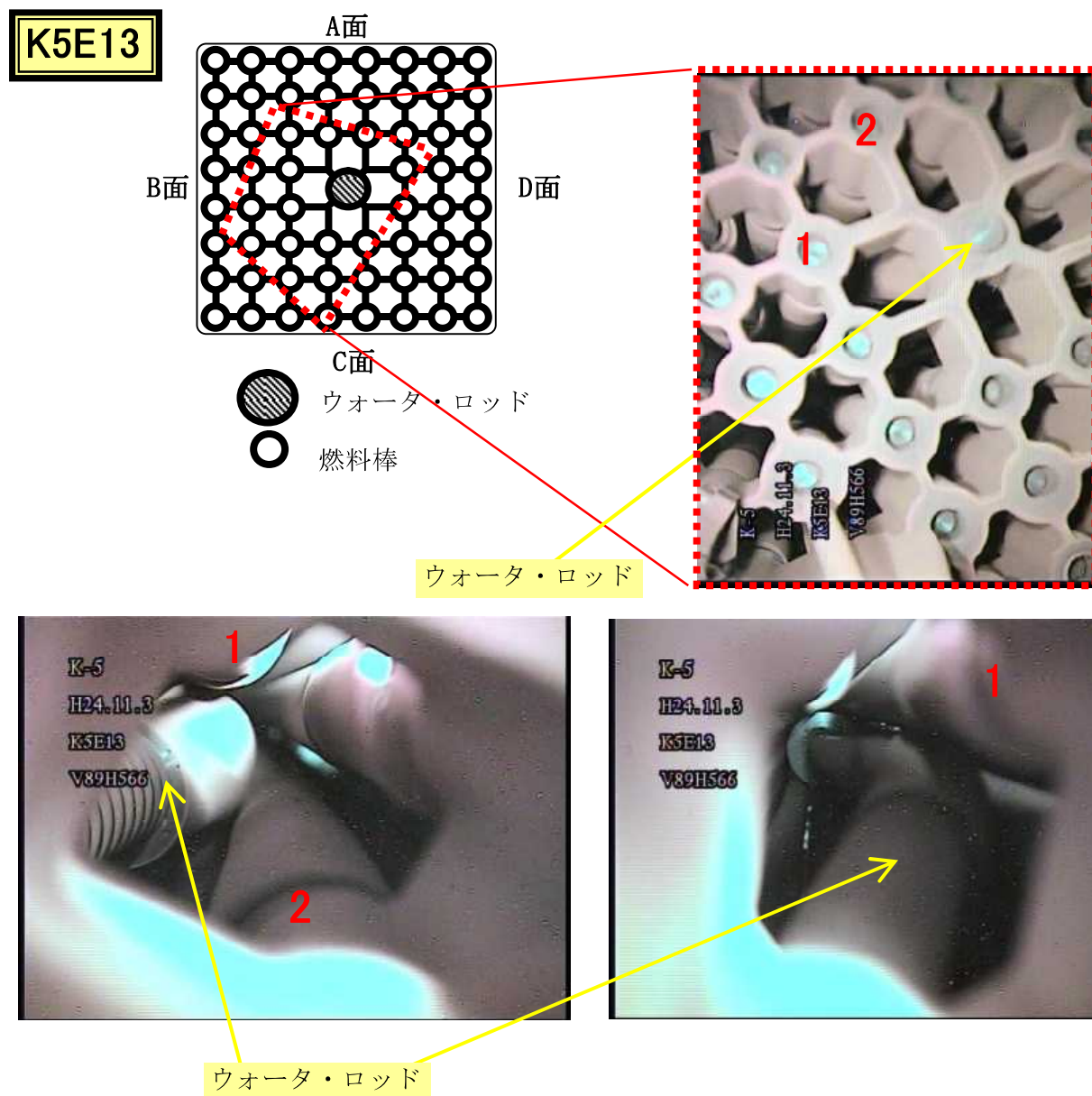


ウォータ・ロッド

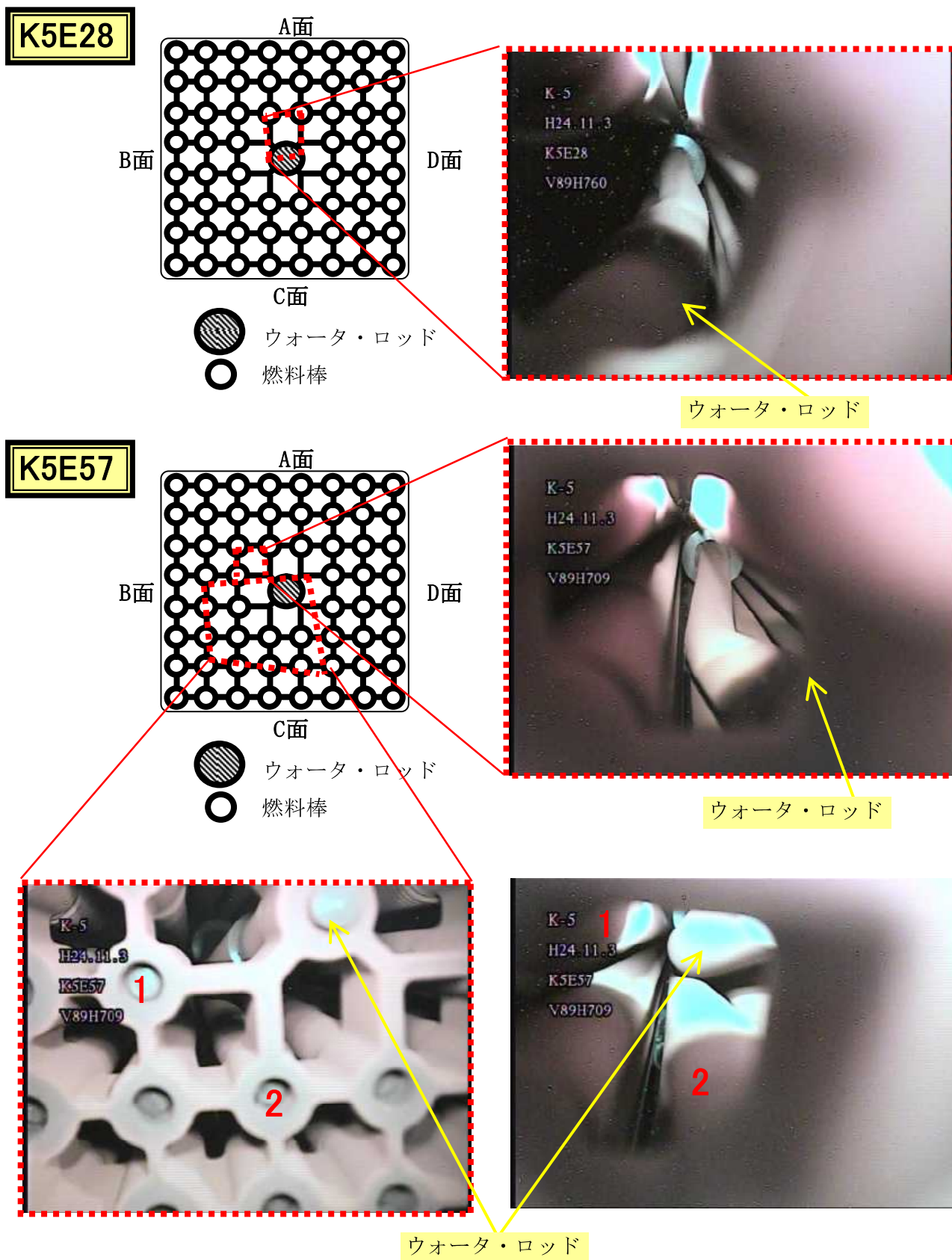
ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



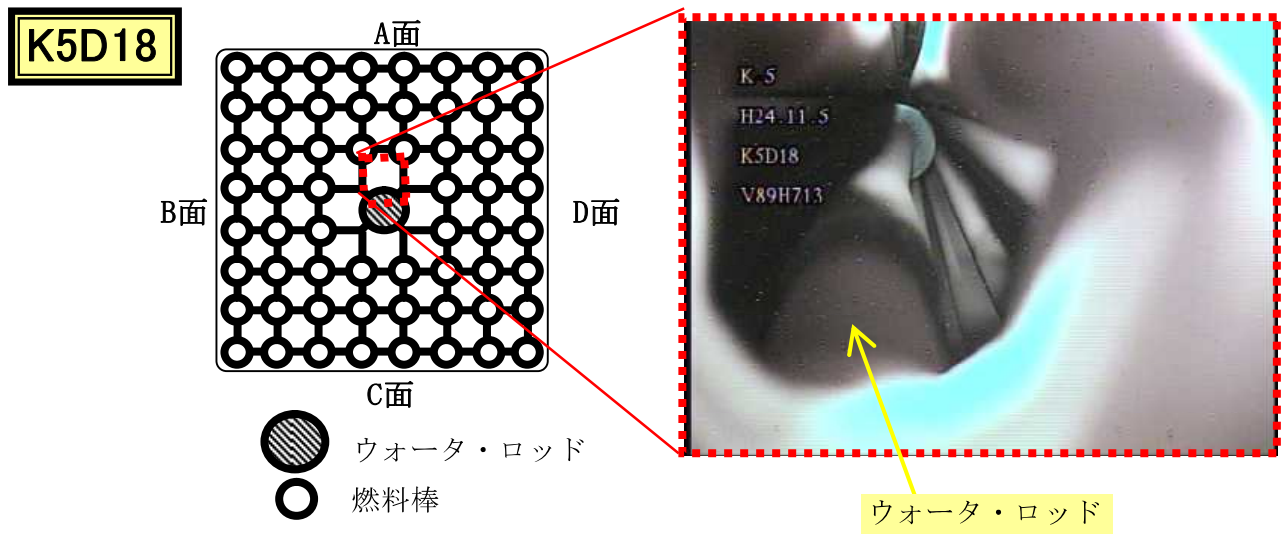
ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



ウォータ・ロッドに曲がりを確認した燃料集合体の上方からの外観



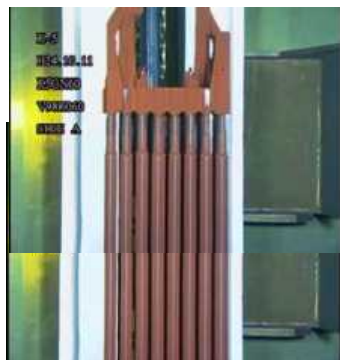
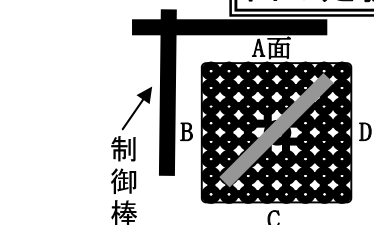
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN60

面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン

← スペース

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

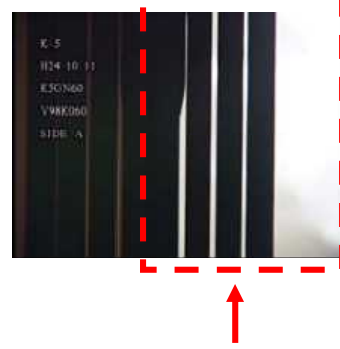
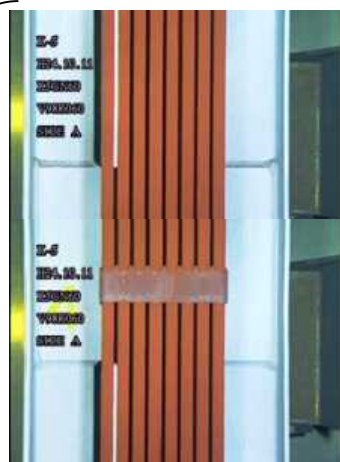
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォーター・ロッド間隔の
A面からの確認

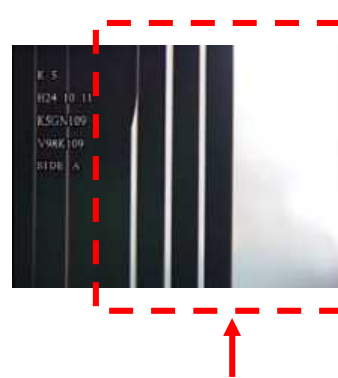
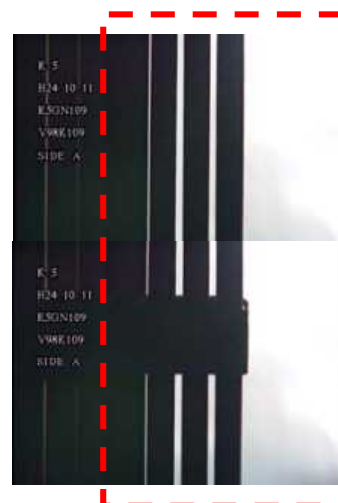
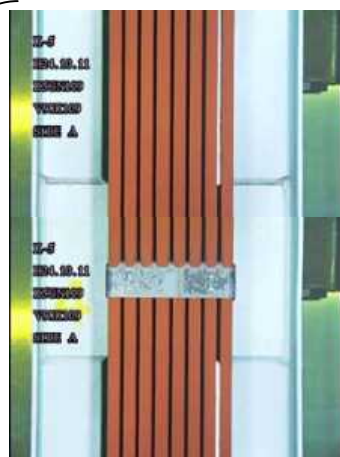
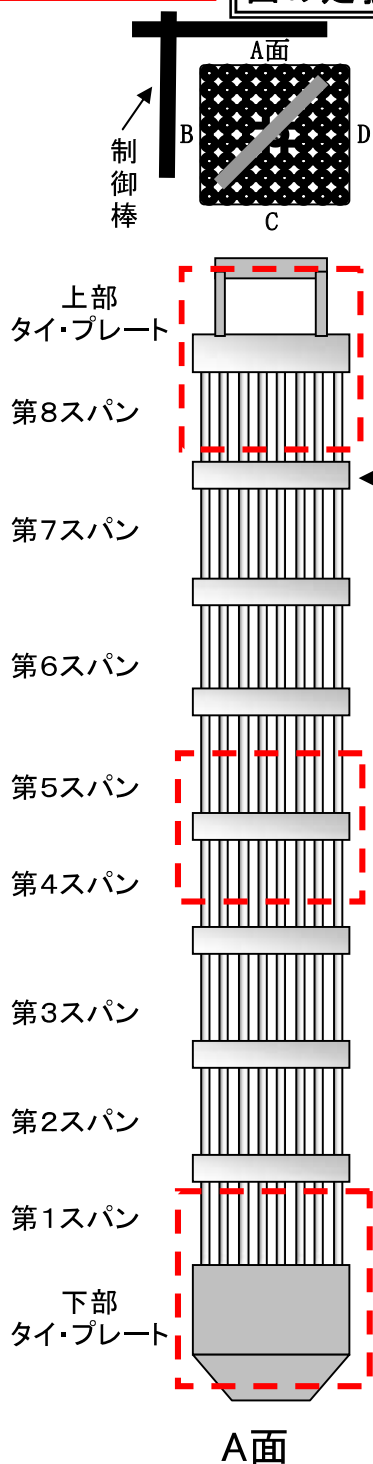
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN109

面の定義

観察結果：異常なし



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォータ・ロッド間隔の
A面からの確認

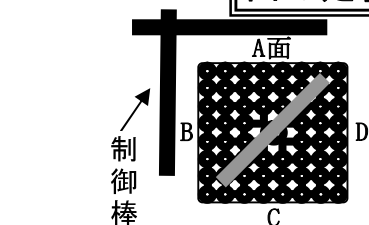
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN125

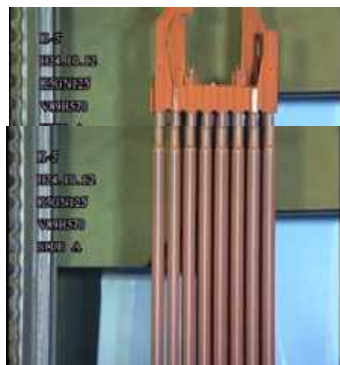
面の定義

観察結果：異常なし



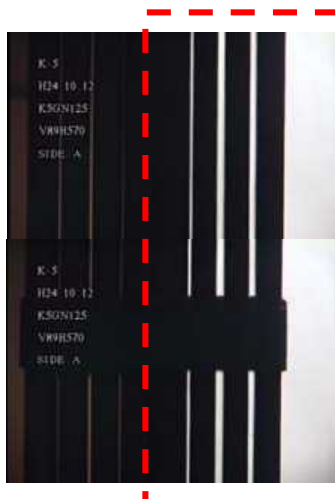
上部
タイ・プレート

第8スパン



← スーパー

第7スパン



第6スパン

第5スパン

第4スパン

第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォーター・ロッド間隔の
A面からの確認

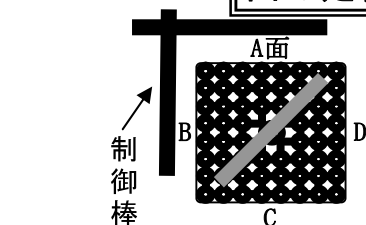
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN116

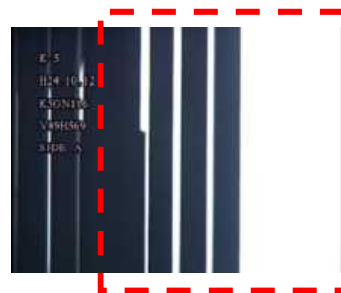
面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン



← スペース

第7スパン



第6スパン

第5スパン

第4スパン

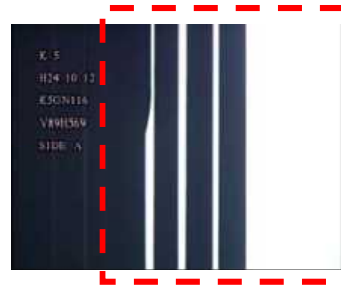
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

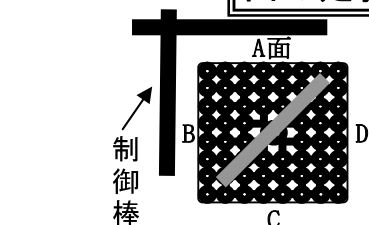
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN34

面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン

← スペース

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

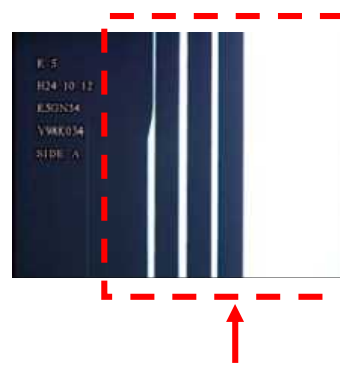
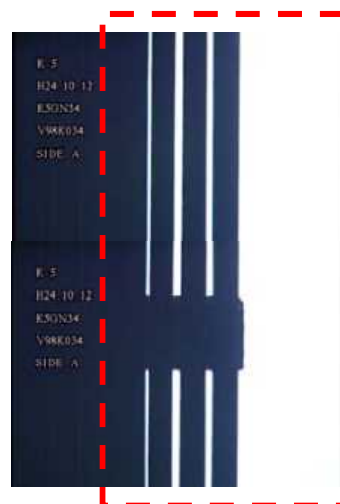
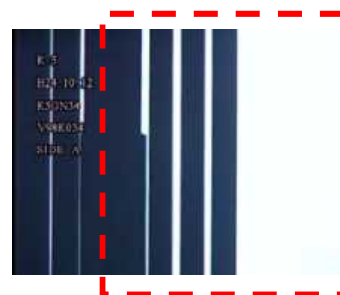
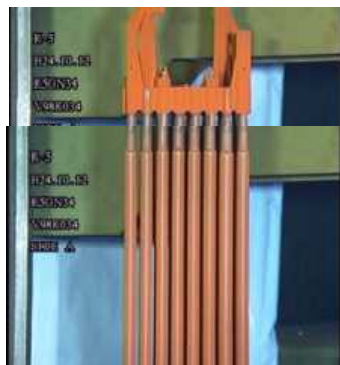
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォーター・ロッド間隔の
A面からの確認

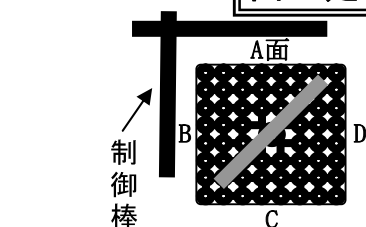
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN122

面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン

スペーサ

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

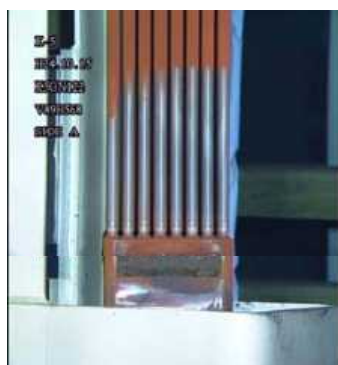
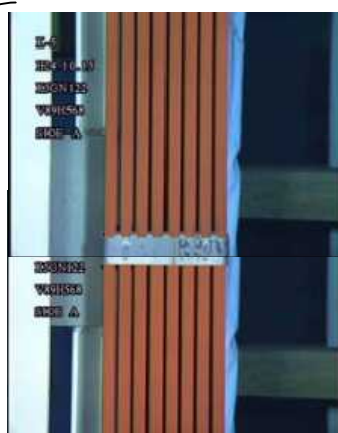
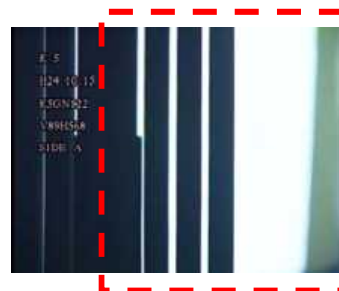
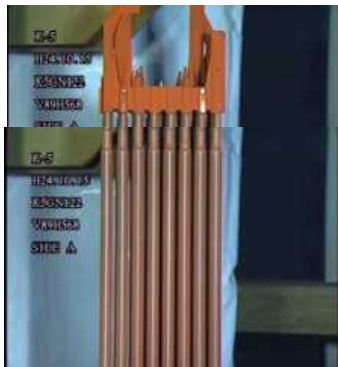
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォーター・ロッド間隔の
A面からの確認

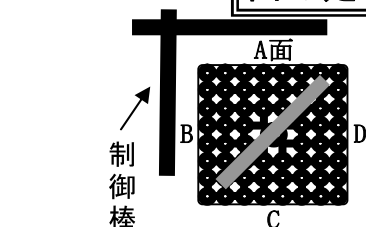
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN134

面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン

スペーサ

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

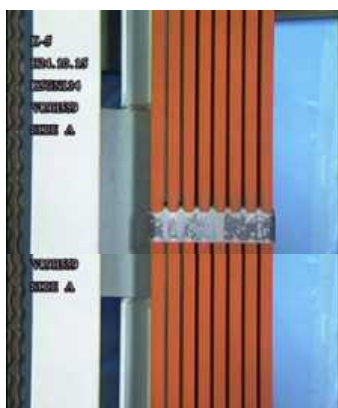
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

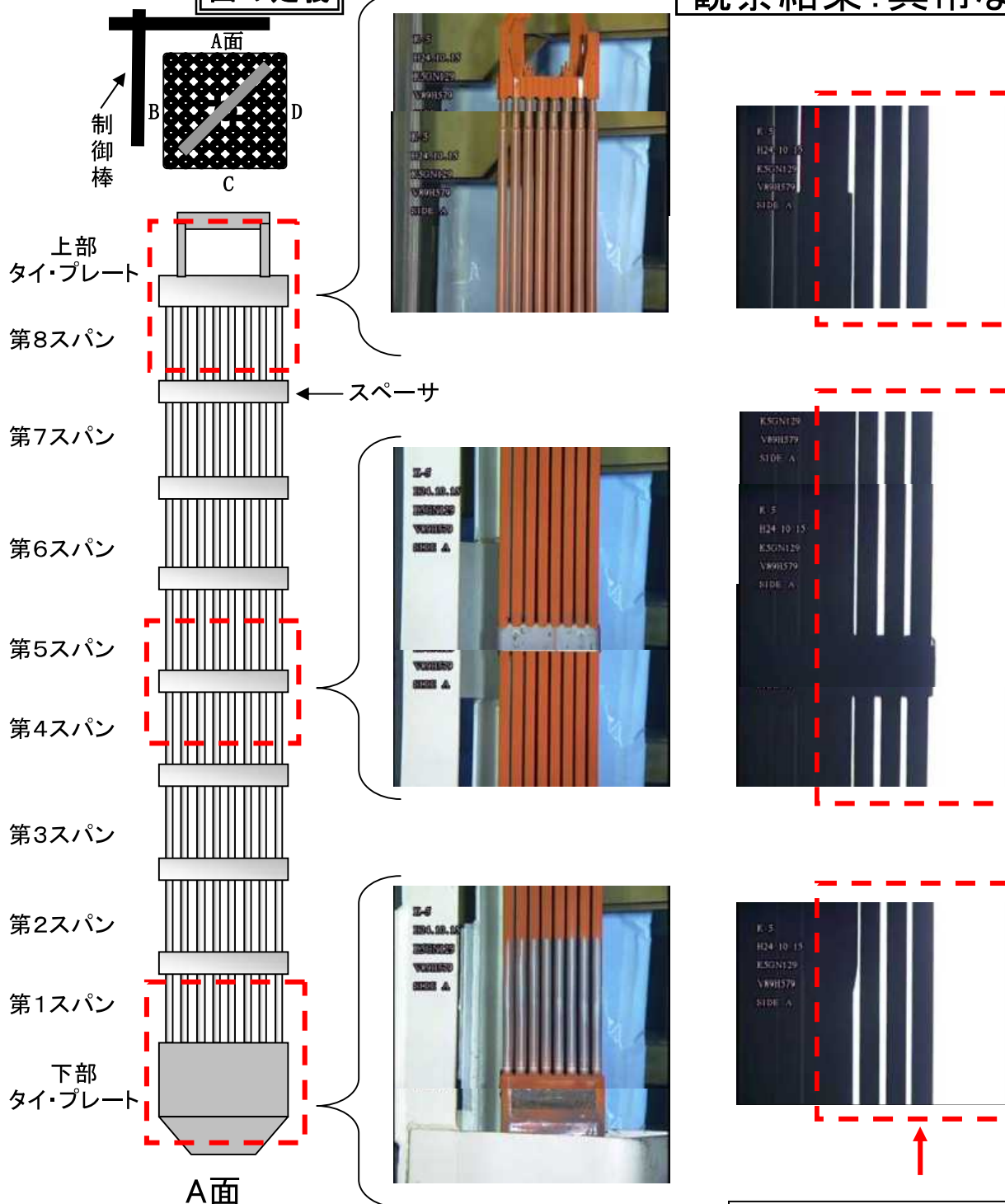
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5GN129

面の定義

観察結果：異常なし



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォータ・ロッド間隔の
A面からの確認

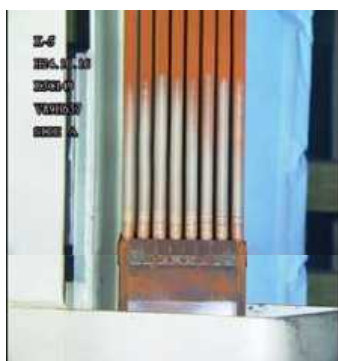
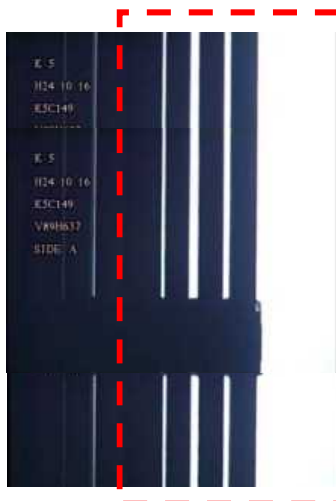
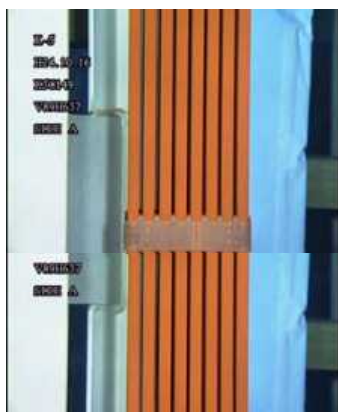
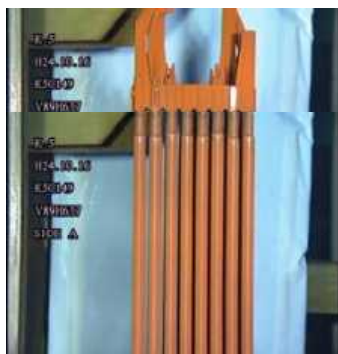
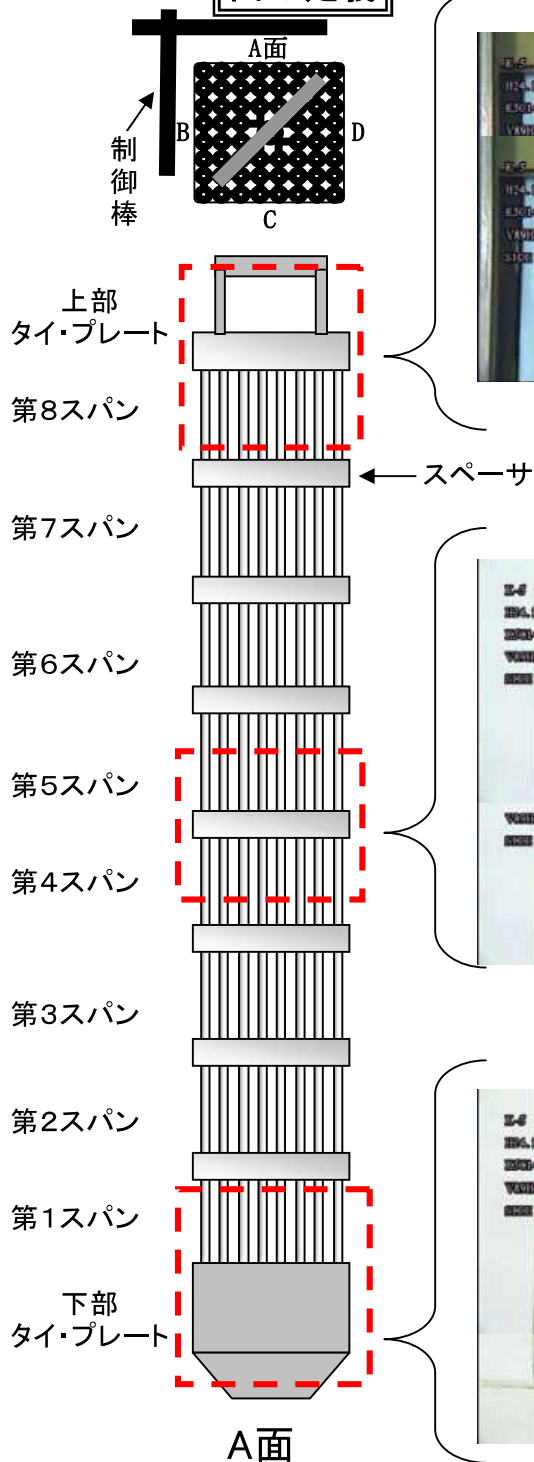
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5C149

面の定義

観察結果：異常なし



A面からの燃料棒外観確認

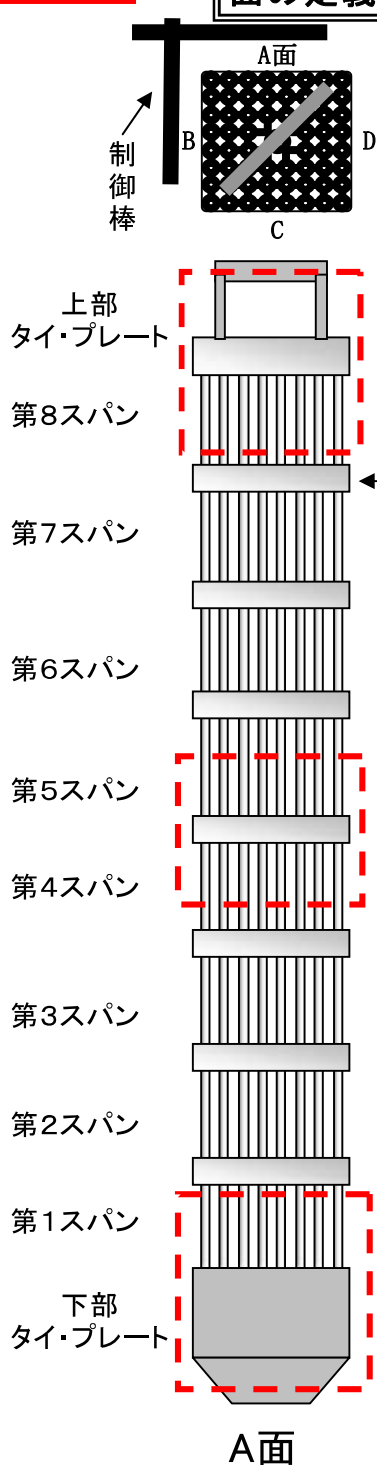
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

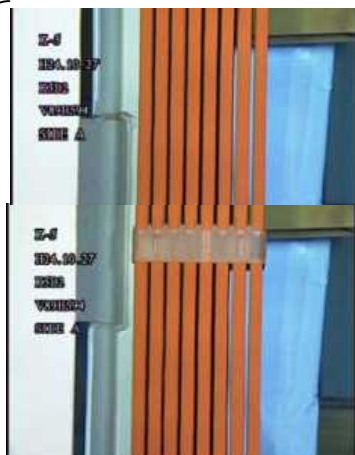
水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5D2

面の定義



観察結果: 異常なし



A面からの燃料棒外観確認

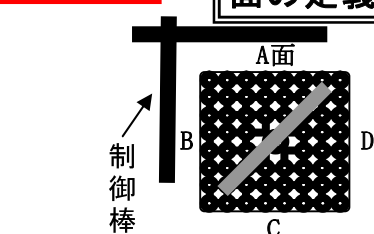
C面からの透過光による
燃料棒-ウォータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5D29

面の定義



上部
タイ・プレート

第8スパン



観察結果: 異常なし



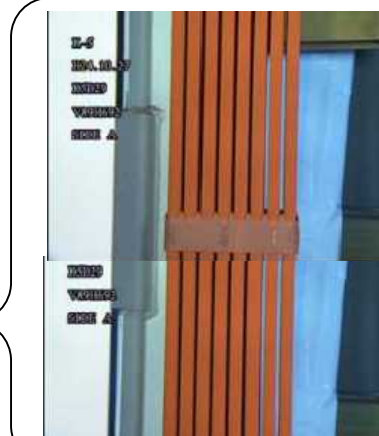
← スペース

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

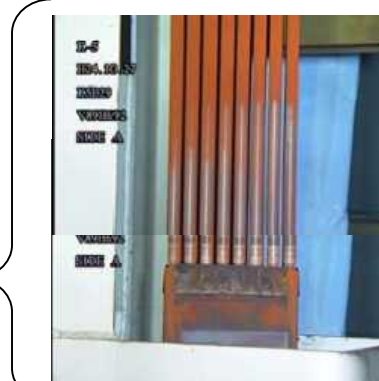


第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート



A面

A面からの燃料棒外観確認

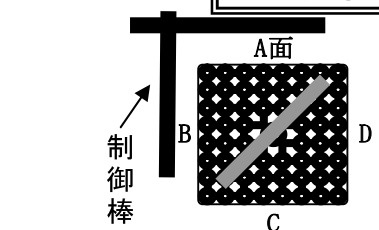
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5G13

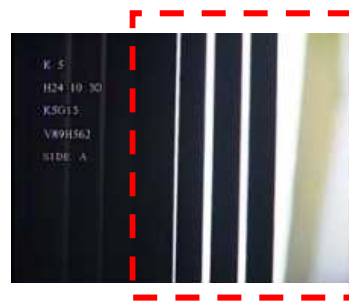
面の定義



観察結果: 異常なし

上部
タイ・プレート

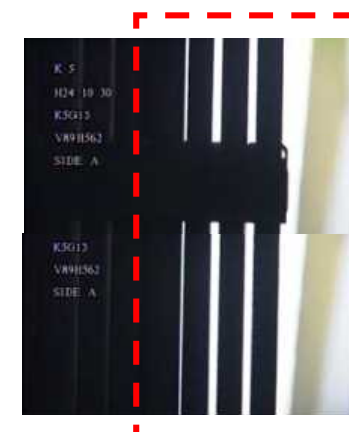
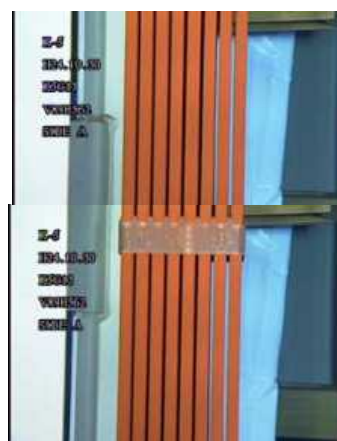
第8スパン



← スーパー

第7スパン

第6スパン



第5スパン

第4スパン

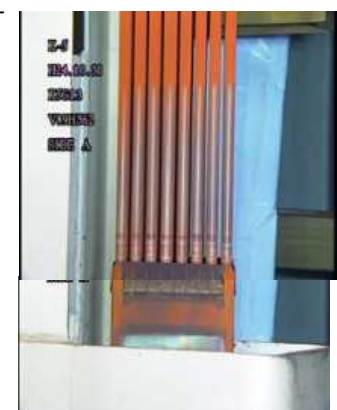
第3スパン

第2スパン

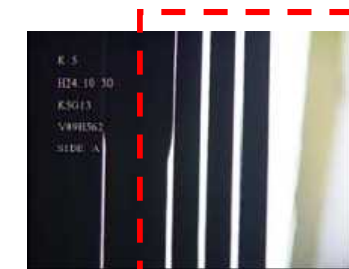
第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認



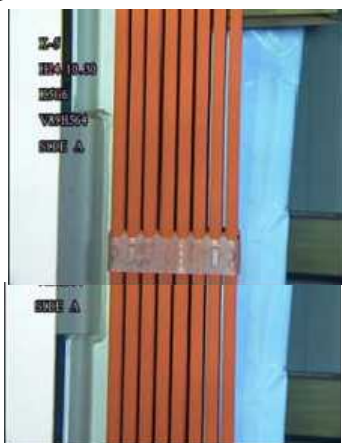
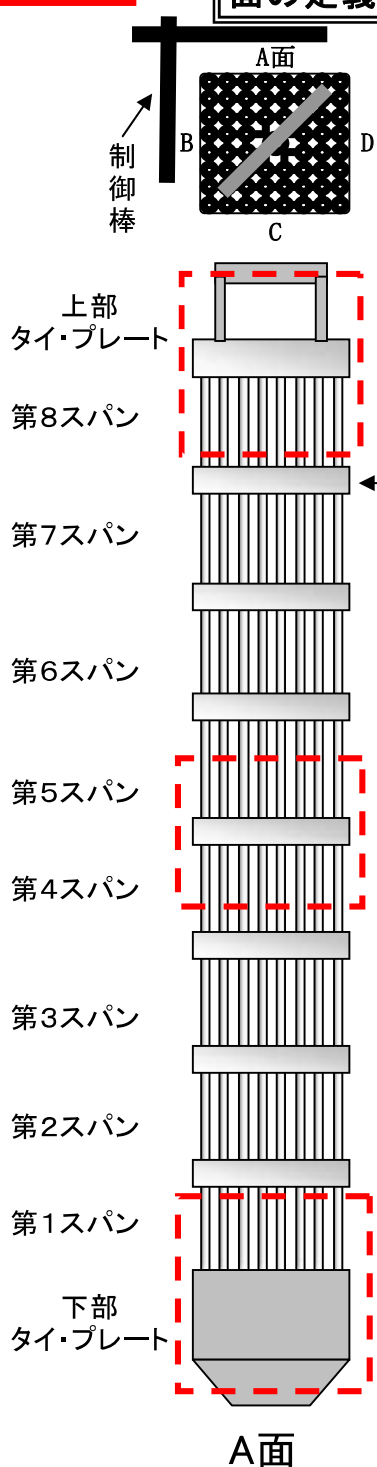
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

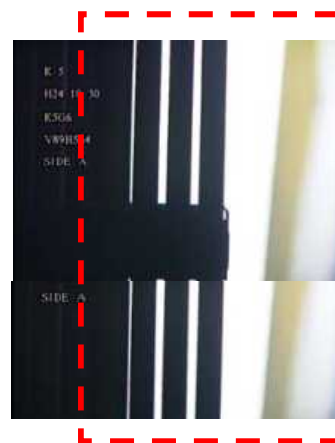
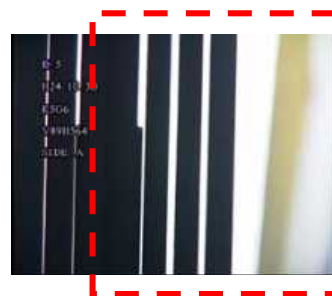
K5G6

面の定義



A面からの燃料棒外観確認

観察結果: 異常なし



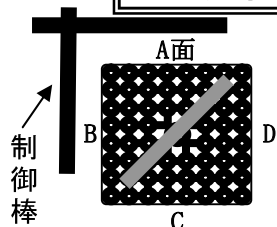
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5C11

面の定義



観察結果: 異常なし

上部
タイ・プレート

第8スパン



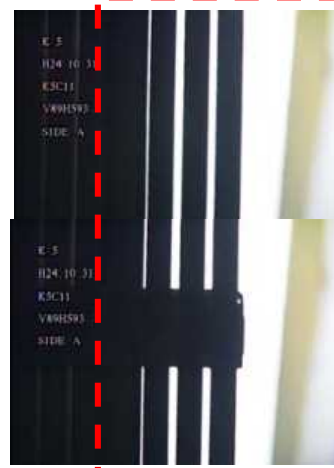
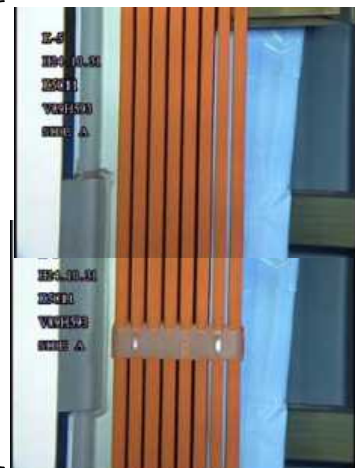
← スペース

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン



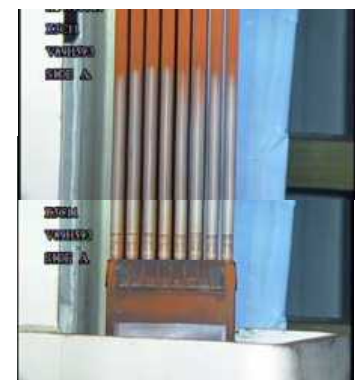
第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

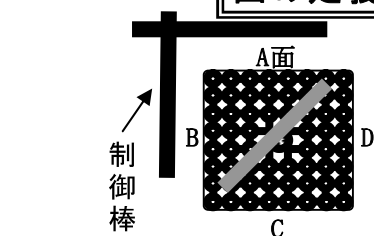
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5E44

面の定義



上部
タイ・プレート

第8スパン

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン

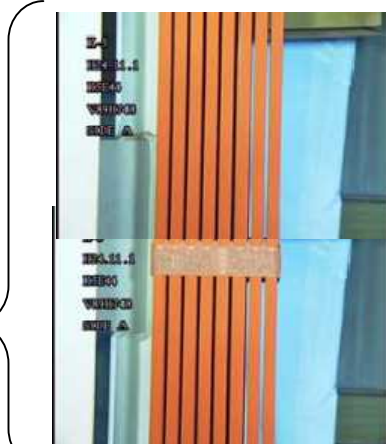
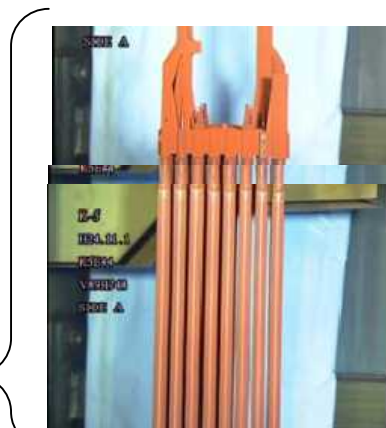
第3スパン

第2スパン

第1スパン

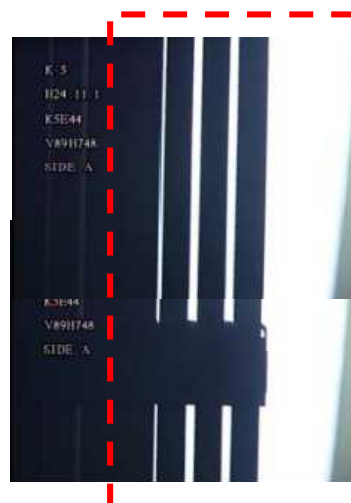
下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

観察結果: 異常なし



C面からの透過光による
燃料棒-ウォータ・ロッド間隔の
A面からの確認

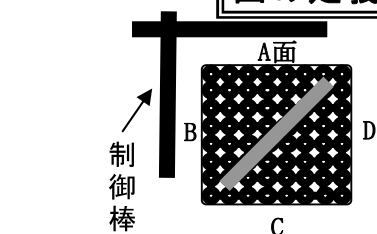
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5Y218

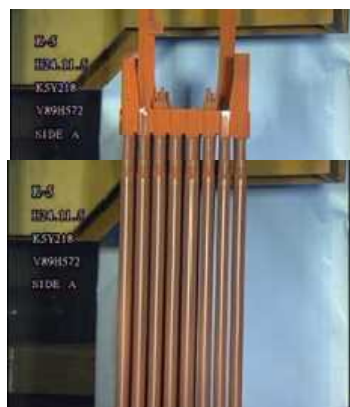
面の定義

観察結果：異常なし



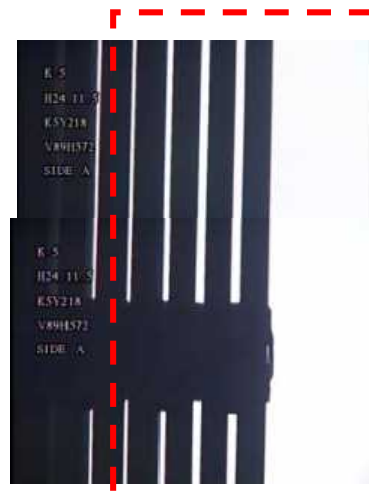
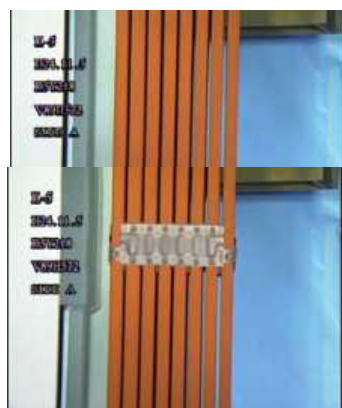
上部
タイ・プレート

第8スパン



第7スパン ← スペース

第6スパン



第5スパン

第4スパン

第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

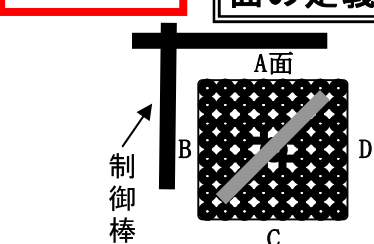
異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5D148

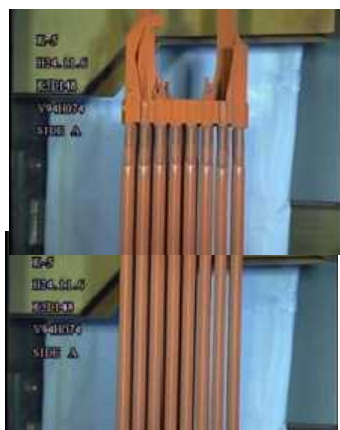
面の定義

観察結果：異常なし



上部
タイ・プレート

第8スパン



← スペース

第7スパン



第6スパン

第5スパン

第4スパン



第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート



A面

A面からの燃料棒外観確認

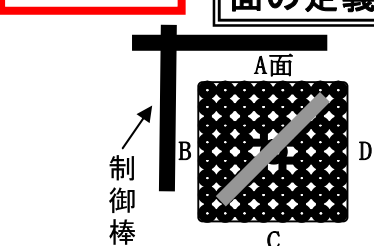
C面からの透過光による
燃料棒-ウオータ・ロッド間隔の
A面からの確認

異常が確認されなかった燃料集合体の外観

水中テレビカメラによる代表映像の写真を以下に示す。

K5D174

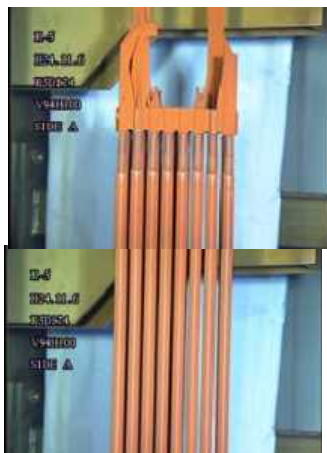
面の定義



観察結果：異常なし

上部
タイ・プレート

第8スパン



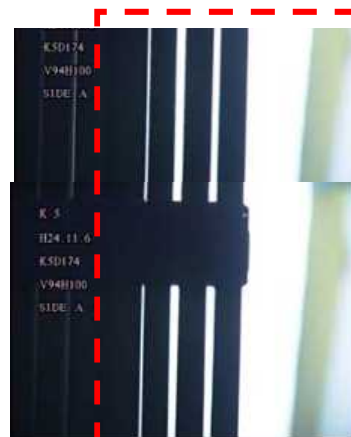
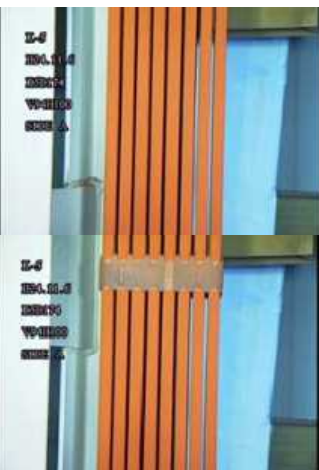
← スペース

第7スパン

第6スパン

第5スパン

第4スパン



第3スパン

第2スパン

第1スパン

下部
タイ・プレート

A面



A面からの燃料棒外観確認

C面からの透過光による
燃料棒-ウォータ・ロッド間隔の
A面からの確認