

法令適用事前確認手続
照会書

原 第 39 号
平成 24 年 7 月 9 日

経済産業省 原子力安全・保安院
原子力発電安全審査課長 殿

富山県富山市牛島町 1 5 番 1 号
北陸電力株式会社
取締役社長 久和 進

下記について、照会をします。

なお、照会及び回答内容が公表されることに同意します。また、照会対象法令（条項）の性質上照会者名を公にすることが回答に当たって必要とされる場合には、照会者名が公表されることに同意します。

記

1. 法令名及び条項

- ・核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 2 6 条第 1 項

2. 実現しようとする自己の事業活動に係る具体的な行為

沸騰水型原子炉では、異物に起因すると考えられる漏えい燃料が少数ではあるが継続的に発生していることから、この発生確率を極力低減するために、今後当社志賀原子力発電所 2 号炉（以下、「志賀 2 号炉」という。）向けに製造される予定の 9×9 燃料（A 型）の下部タイプレート内に新型異物フィルタを設置する。また、新型異物フィルタ設置に伴い、漏えい流量制御板を削除し、その代わりとして下端厚肉チャンネルボックスを採用する。

なお、志賀 2 号炉に現在採用済みの現行異物フィルタは、下部タイプレートと鋳物一体型であるが、新型異物フィルタは、添付 1 のとおり、カートリッジ型であり、下部タイプレート内に装填し、蓋（カバープレート）を溶接するものである。

添付 1 「9×9 燃料（A 型）用新型異物フィルタ概要図」

添付 2 「漏えい流量制御板削除、下端厚肉チャンネルボックス概要図」

3. 当該行為と照会対象法令（条項）の規定との関係についての自己の見解

原子炉設置者は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「原子炉等規制法」という。）第 2 6 条第 1 項に基づき、原子炉等規制法第 2 3 条第 2 項第 2 号から第 5 号まで又は第 8 号に掲げる事項を変更しようとするときには、政令に定めるところにより、主務大臣の許可を受けなければならない。

当該行為に関して、志賀 2 号炉の原子炉設置許可申請書本文には、燃料集合体の構造

についての記載はあるが、その中に下部タイプレート、漏えい流量制御板及びチャンネルボックスの構造についての記載はなく、新型異物フィルタを設置した場合は、原子炉等規制法第23条第2項第2号から第5号まで又は第8号に掲げる事項を変更しようとする場合に該当しない。

添付3、4のとおり、新型異物フィルタ付き下部タイプレートを採用した場合の下部タイプレート内を流れる冷却材の圧力損失特性は、許可を得ている異物フィルタの無い9×9燃料(A型)と比較してごく僅かに増加するものの、現行異物フィルタ付き下部タイプレートの場合と同程度である。また、新型異物フィルタの採用に伴う下部タイプレート周りの設計変更(ルースパーツ発生リスクの低減、設計合理化の観点から、漏えい流量制御板(チャンネルボックスと下部タイプレート間の冷却材流量を制御する装置)を削除し、その代わりとしての下端厚肉チャンネルボックスを採用する)も伴い、チャンネルボックス内の冷却材流量が許可を得ている異物フィルタの無い9×9燃料(A型)と比較してごく僅かに減少する。これらの僅かな差は燃料性能に有意な影響を与えるものではないと考えられるが、念のため安全性に影響を及ぼす可能性のある項目を抽出して安全性の確認を行ったところ、添付5のとおり、原子炉設置許可申請書本文に記載のある通常運転時の最小限界出力比(以下、「MCPR」という。)の制限値(以下、「OLMCPR」という。)は変更とならず、添付書類十の事故解析等に与える感度もごく僅かで、許可の評価結果に影響しない。また、新型異物フィルタ付き燃料の核特性、熱水力特性は現行燃料と同等であるため、運転制限値を遵守した運転を行うことは十分可能であり、制御棒挿入性、水力振動特性、下部タイプレート機械強度についても問題ないことを確認した。

添付3「炉心入口部圧力損失試験」

添付4「燃料集合体の圧力損失内訳」

添付5「9×9燃料(A型)用新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用による安全性への影響について(志賀2号炉)」

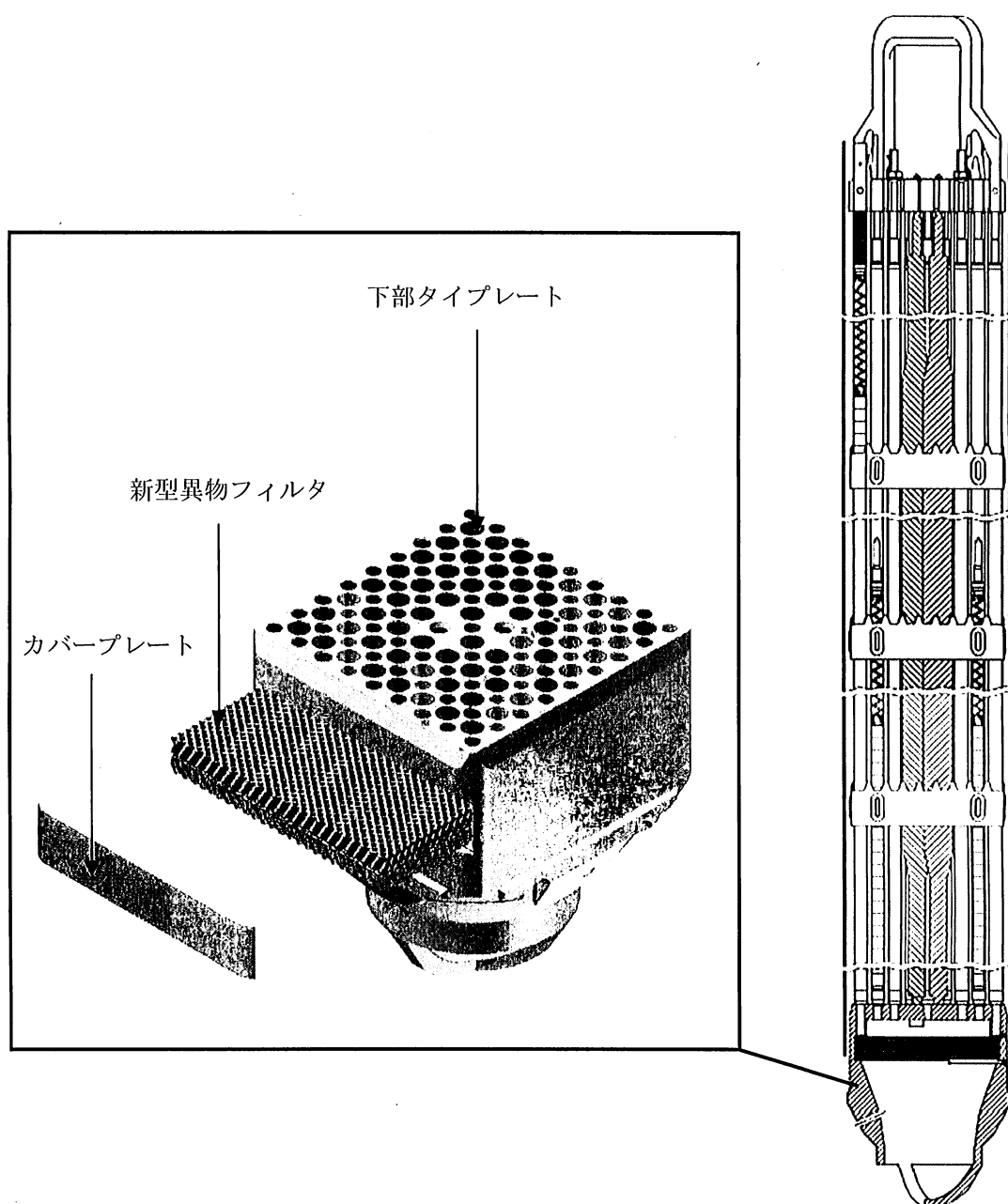
したがって、原子炉等規制法第26条第1項に基づき、設置変更許可申請手続きを行う必要はないと考える。

4. 公表の遅延の希望

なし

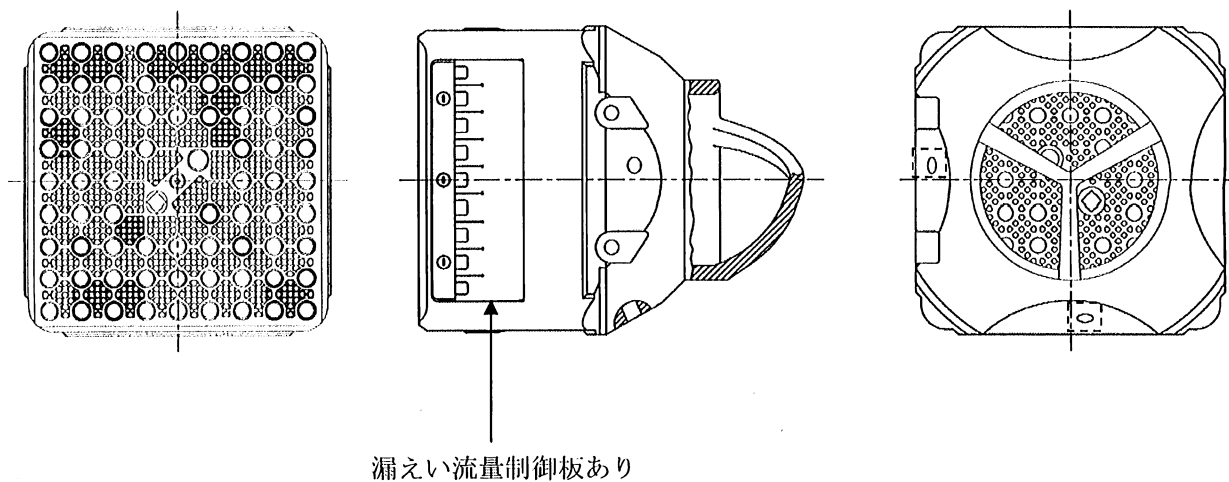
5. 連絡先(非公開)

以上

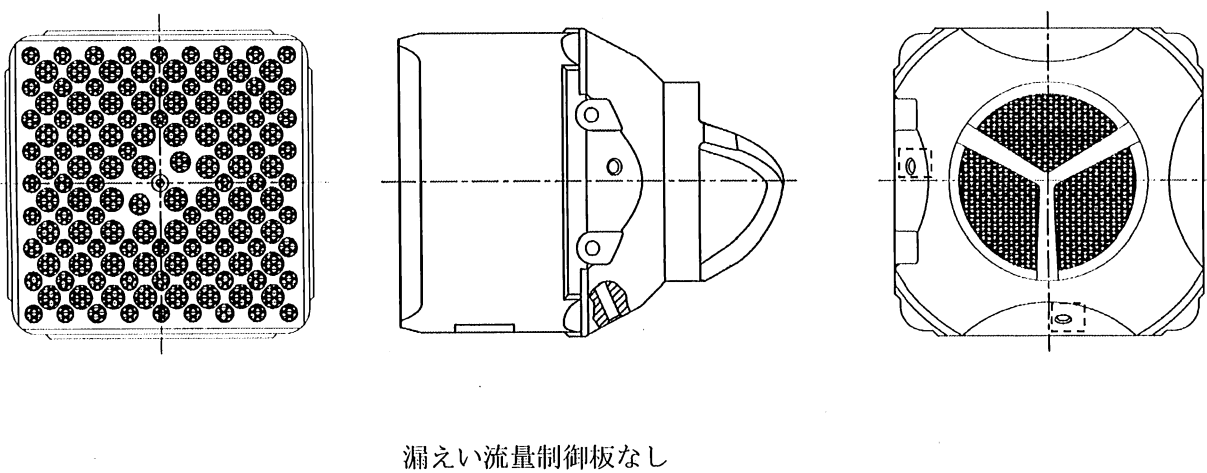


添付 1 図 1 9×9燃料 (A 型) 用新型異物フィルタ概要図

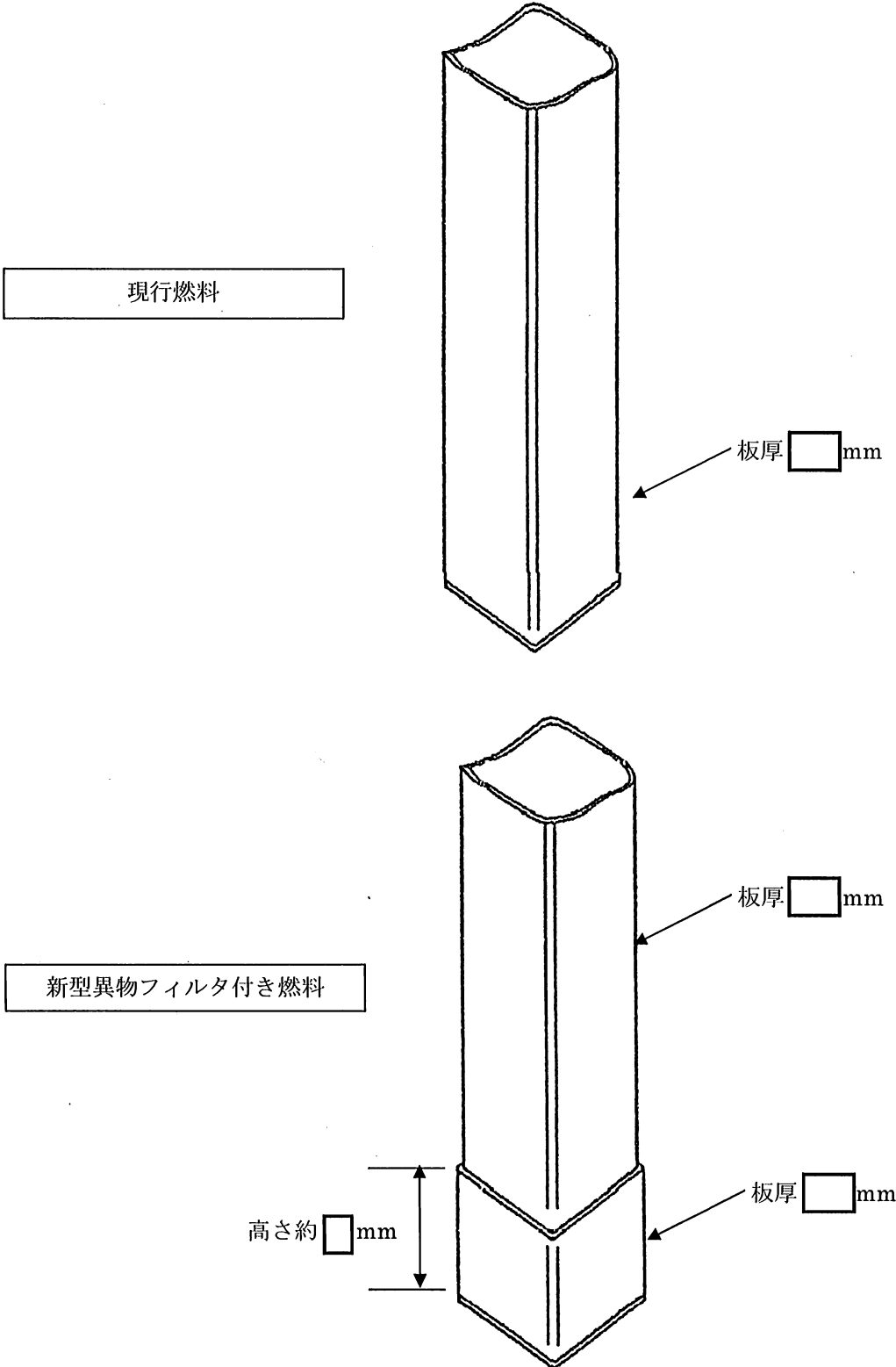
現行異物フィルタ付き下部タイププレート



新型異物フィルタ付き下部タイププレート



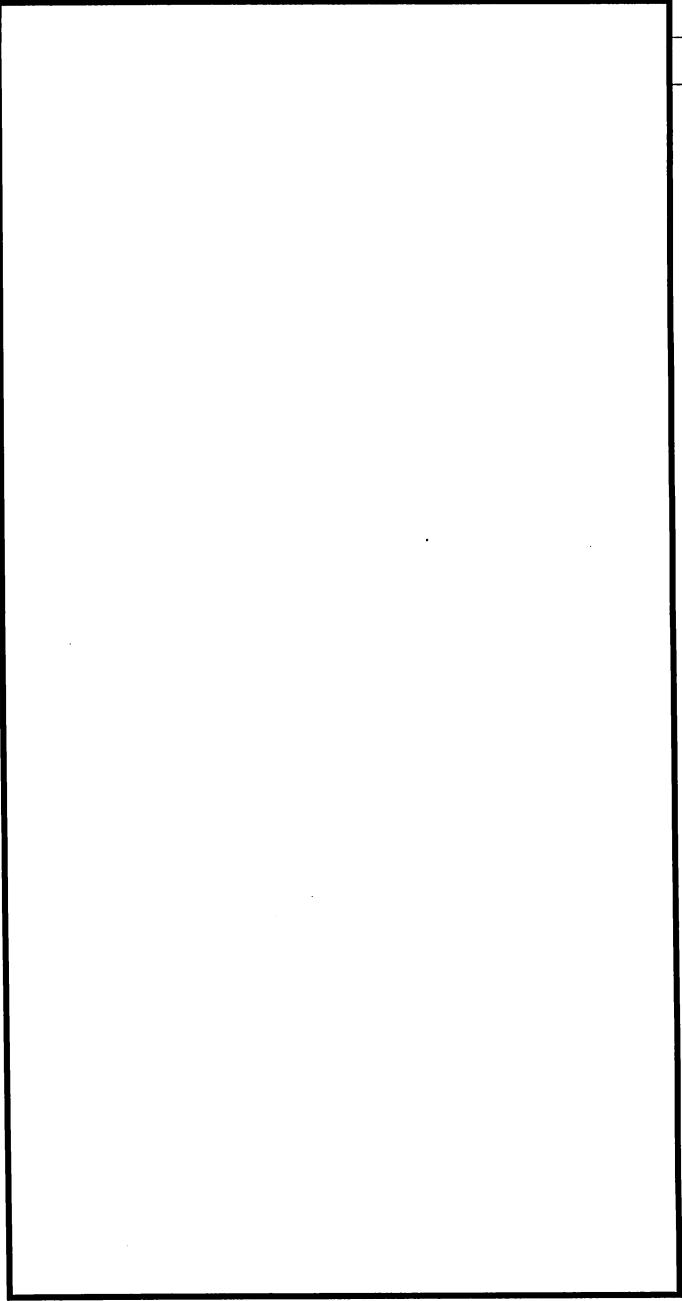
添付 2 図 1 漏えい流量制御板削除概要図



添付2図2 下端厚肉チャンネルボックス概要図

添付 2-2

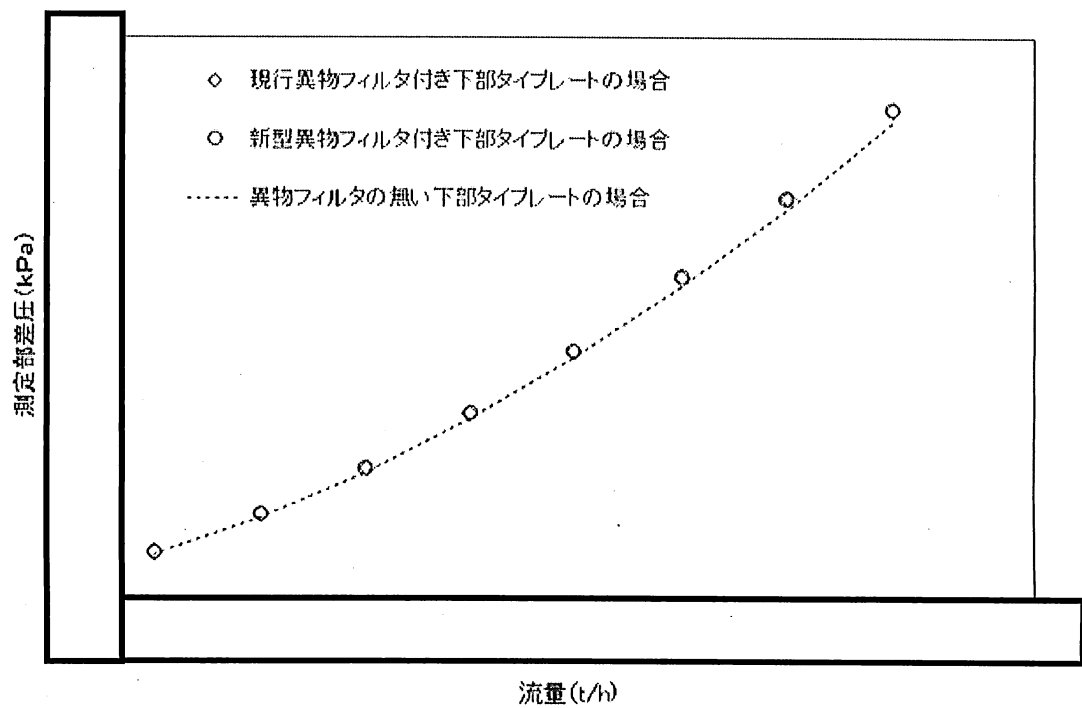
内は商業機密情報であり公開できません

項目	内容
温度／圧力	
試験体	
試験装置	

添付 3 図 1 試験体系模式図

添付 3・1

 内は商業機密情報であり公開できません



添付 3 図 2 炉心入口部圧力損失試験結果

添付 4 表 1 燃料集合体の圧力損失内訳

	9 × 9 燃料(A 型)	現行異物フィル付き 9 × 9 燃料(A 型)	新型異物フィル付き 9 × 9 燃料(A 型)
チャンネル内流量[10 ⁶ kg/hr]			
バイパス流量[10 ⁶ kg/hr]			
炉心平均ボイド率[%]			
炉心出口平均蒸気重量率[wt%]			
オリフィス入口から上部プレナムまでの圧力差[MPa]			
圧力損失の内訳（最高出力流路）			
流量[10 ³ kg/hr]			
入口エンタルピ[kJ/kg]			
出口蒸気重量率[wt%]			
炉心圧力損失[MPa]			
a) 摩擦圧損			
b) 位置圧損			
c) 加速圧損			
d) 局所圧損			

9×9 燃料 (A 型) 用新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用による
安全性への影響について (志賀 2 号炉)

1. はじめに

本書では、志賀 2 号炉を対象に、9×9 燃料 (A 型) 用に新型異物フィルタ付き下部タイプレートを採用した場合における安全性への影響について確認する。

2. 評価結果

新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用により安全性に影響を与える可能性のある以下の項目について評価を行い、通常運転時の最小限界出力比 (以下、「MCPR」という。) の制限値 (以下、「OLMCPR」という。) の変更を要しないこと、事故評価、安定性への影響が小さく、現行の設置許可に適合していることを確認した。また、核特性、熱水力特性は許可を得ている異物フィルタの無い 9×9 燃料 (A 型) (以下、「異物フィルタなし燃料」という。) と同等であり運転制限値を遵守した運転が可能であること、制御棒挿入性、水力振動特性、下部タイプレート機械強度についても問題ないことを確認した。

2. 1 OLMCPR への影響評価

OLMCPR は、MCPR に関する燃料の許容設計限界 (以下、「SLMCPR」という。) と、運転時の異常な過渡変化時における MCPR の変化量 (以下、「 Δ MCPR」という。) の最も大きなものとの和として定義される。以下に新型異物フィルタ付き下部タイプレートを採用した燃料 (以下、「新型異物フィルタ付き燃料」という。) を装荷した炉心の SLMCPR, Δ MCPR の影響について評価した。

(1) SLMCPR への影響

SLMCPR は、炉心内の CPR 分布に影響を受ける (MCPR に近い CPR となる燃料が炉心内に数多く存在するほど、SLMCPR は大きくなる。)。新型異物フィルタ付き燃料の核特性、熱水力特性は、許可を得ている異物フィルタなし燃料と同等であるため、炉心の CPR 分布への影響は非常に小さい。このため、新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用により SLMCPR は変わらない。

(2) Δ MCPR, OLMCPR への影響

新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用による Δ MCPR, OLMCPR への影響評価を行った。以下に評価結果を示す。評価の対象としては、OLMCPR 決定事象 (Δ MCPR が最大となる事象) である給水加熱喪失と、 Δ MCPR が比較的大きく、圧損特性及び漏えい流量制御板削除に伴うチャンネル内流量変化の影響を受けやすい負荷の喪失 (発電

機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動)を選定し、それぞれについて Δ MCPR への影響は小さく、許可を得ている OLMCPR の変更は不要であることを確認した。

添付 5 表 1 Δ MCPR への影響評価

(対象炉心: 志賀 2 号炉 9×9 燃料 (A 型) 炉心)

対象事象	設置許可申請解析 (異物フィルタなし燃料炉心)		新型異物フィルタ付き燃料炉心	
	Δ MCPR	Δ MCPR +SLMCPR	Δ MCPR	Δ MCPR +SLMCPR
給水加熱喪失	0.15 	<u>1.22</u>	0.15 	1.22
発電機負荷遮断・ タービンバイパス弁不作動	0.12 	1.19	0.12 	1.19

注 1) SLMCPR=1.07

注 2) Δ MCPR の括弧内は参考値

注 3) 二重下線部が OLMCPR

給水加熱喪失については、新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用による Δ MCPR への影響は無視できる程度であり、OLMCPR に影響はない。これは給水加熱喪失における Δ MCPR の主要因は給水温度低下によるサブクールの増加に伴う限界出力上昇と出力増加であり、最高出力燃料のチャンネルボックス内を流れる冷却材流量（以下、「初期解析流量」という。）の微小な差による影響は小さいためと考えられる。

発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動については、新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用により Δ MCPR は僅かに大きくなるものの、申請書記載値への影響はない。発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動では、蒸気加減弁急閉時の再循環ポンプトリップによる流量減少に伴い限界出力が低下する。新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用に伴い初期解析流量が僅かに低くなったことで、流量変化に対する限界出力の変化（質量流束に対する限界出力の勾配）が大きくなったため、 Δ MCPR が僅かに大きくなったものと考えられる。

混在炉心の影響について、以下のとおり考察する。

Δ MCPR の評価は原子炉内の最高出力燃料（OLMCPR 発生燃料）に着目して行われる。初期解析流量は、各燃料の上下間差圧が一定となるように各燃料のチャンネルボックス内外での冷却材の流れを計算することによって得られる。

異物フィルタ、下部タイプレート周りの設計変更に伴い、 Δ MCPR 評価に影響のある初期解析流量が変化する。異物フィルタなし燃料、現行異物フィルタ付き燃料、新型異

添付 5

物フィルタ付き燃料の組み合わせによる初期解析流量と、それぞれの組み合わせを考慮した、給水加熱喪失及び発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動の両事象における ΔMCPR 評価値を添付 5 表 2 に示す。また、添付 5 図 1 に発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動の事象における初期解析流量と ΔMCPR の関係を示すが、本事象においては初期解析流量と ΔMCPR には相関関係があり、初期解析流量から ΔMCPR は推定可能である。

添付 5 表 2 燃料の組み合わせと初期解析流量, ΔMCPR

評価 ケース	支配燃料 (871 体) ※1	最高出力 燃料(1 体) ※1	初期解析 流量※2 [t/hr]	ΔMCPR (SLMCPR + ΔMCPR)		OLMCPR
				給水 加熱 喪失	発電機負荷遮断・ タービンバイパス弁 不作動	
Case1※3	フィルタなし	フィルタなし	(基準)			1.22
Case2	現行フィルタ	現行フィルタ	(+0.1%)			
Case3	現行フィルタ	新型フィルタ	— (—)	—	—	—
Case4	新型フィルタ	現行フィルタ	— (—)	—	—	—
Case5	新型フィルタ	新型フィルタ	(−0.3%)			1.22
Case6※3	フィルタなし	新型フィルタ	(−1.3%)			

※1 それぞれの燃料名称は以下のとおり。

フィルタなし：異物フィルタなし燃料，現行フィルタ：現行異物フィルタ付き燃料

新型フィルタ：新型異物フィルタ付き燃料

※2 設置許可における解析点（出力 102%，炉心流量 90%）での評価。

※3 志賀 2 号炉は、全数現行異物フィルタ付き燃料となっており、今後、異物フィルタなし燃料が支配的となることはない。

以下に、混在炉心における初期解析流量に関する考察を示す。

- ・ 新型異物フィルタ付き燃料の圧損は異物フィルタなし燃料より大きいため、炉心の大多数を占める（支配）燃料を異物フィルタなし燃料とし、最高出力燃料を新型異物フィルタ付き燃料とした場合（Case6）は初期解析流量が低流量側に若干シフトする。
- ・ 新型異物フィルタ付き燃料の圧損は現行異物フィルタ付き燃料と同等であるため、新型異物フィルタ付き燃料を装荷した場合の炉心圧損は現行異物フィルタ付き燃料を装荷した場合と変わらないが、下部タイプレート漏えい流量制御板の削除及び下端厚肉チャンネルボックスの採用によって、下部タイプレートとチャンネルボックスの隙間からチャンネルボックス外へ漏えいする冷却材流量が微小に増加するため、初期解析流量が減少する。（Case3,5,6）
- ・ そのため、上記効果が重量する、炉心の大多数を占める（支配）燃料を異物フィルタなし燃料とし、最高出力燃料を新型異物フィルタ付き燃料とした場合（Case6）の初期解

添付 5-3

内は商業機密情報であり公開できません

析流量が最も低流量となる。

以下に、混在炉心における給水加熱喪失事象の Δ MCPRに関する考察を示す。

- ・ 添付 5 表 2 に示すとおり、各 Case において初期解析流量が最大 1.4%(+0.1%, -1.3%) 変動しているが、 Δ MCPR は全て同じ値 () であることから、初期解析流量の変動が Δ MCPR に与える影響は小さいと言える。
- ・ 給水加熱喪失における Δ MCPR 変化に支配的な要因は、出力上昇により Δ MCPR が大きくなる効果と、給水温度低下 (サブクール増加) により限界出力が向上し Δ MCPR が小さくなる効果であり、初期解析流量の微小な差による影響は小さいと考えられる。
- ・ このことから、いずれのケースにおいても給水加熱喪失事象の Δ MCPR が OLMCPR の変更を要する 0.150 を超えることはないと判断した。

以下に、発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動事象の Δ MCPRに関する考察を示す。

- ・ 発電機負荷遮断・タービンバイパス弁不作動では、インターナルポンプ (RIP) のトリップによる流量減少に伴い限界出力が低下する。初期解析流量が低くなると、流量変化に対する限界出力の変化 (質量流束に対する限界出力の勾配) が大きくなるため、初期解析流量が少ない方が事象を厳しく評価する (Δ MCPR が大きくなる) (添付 5 図 1)。
- ・ 志賀 2 号炉については、既に炉内の全燃料が現行異物フィルタ付き燃料になっていることから、支配燃料が異物フィルタなし燃料、最高出力燃料が新型異物フィルタ付き燃料である Case6 の状態となることは無い。しかしながら、初期解析流量に対する Δ MCPR の傾向から Case6 の Δ MCPR が最も大きくなると考えられることから評価を実施したところ であり、OLMCPR の変更を要する 0.150 より小さい結果となった。
- ・ 現在、志賀 2 号炉については炉内の全燃料が現行異物フィルタ付き燃料 (Case2) となっており、現行異物フィルタ付き燃料支配炉心に最高出力燃料のみ新型異物フィルタ付き燃料とした場合 (Case3) は現実的なケースと考えられる。本ケースの初期解析流量は他ケースにおける初期解析流量の範囲内にあると考えられるため、本ケースにおいても OLMCPR は変わらないと判断した。

なお、現在、志賀 2 号炉での 9×9 燃料 (B 型) の使用の許可を得ていないことから、9×9 燃料 (B 型) との混在炉心を想定する必要はない。

2. 2 事故解析への影響評価

事故解析への影響評価については、新型異物フィルタ付き燃料と現行異物フィルタ付き燃料の下部タイプレートの圧損特性が同程度であること、また、漏えい流量特性の違いは小さいことから、現行異物フィルタ付き燃料を装荷した場合の評価で代表した。

事象としては、圧損特性変化の影響が比較的大きいと考えられる、事象開始後に炉心流量が急減し、沸騰遷移の発生により燃料被覆管温度が上昇する事象（原子炉冷却材流量の喪失、原子炉冷却材喪失、主蒸気管破断）を選定し、判断基準については、圧損特性変化の感度が最も大きい被覆管最高温度（以下、「PCT」という。）を評価した。

以下に、志賀 2 号炉に現行異物フィルタ付き燃料を採用した際の評価を示すが、現行異物フィルタ付き燃料採用による事故評価への影響は、以下に示すとおり設置許可における解析値（異物フィルタなし燃料を装荷した場合の解析値）に対して軽微であり、解析結果は事故時の評価基準値に対して十分に余裕がある。現行異物フィルタ付き燃料と新型異物フィルタ付き燃料の圧損等の特性は大きく変わらないことから、新型異物フィルタ付き燃料を装荷した場合でも事故時の評価基準値を超えることはないと判断した。

また、燃料集合体の落下については、落下する集合体の質量が評価上重要であることから、新型異物フィルタ付き燃料の質量を確認し、設置許可における評価で前提としている質量を下回ることを確認した。

（1）原子炉冷却材流量の喪失（以下、「APTA」という。）

現行異物フィルタ付き燃料を採用した場合、炉心全体の圧損が僅かに増加するため、事故後の炉心流量の低下割合が僅かに大きくなる傾向がある。解析の結果、PCT は若干上昇する（℃未満）が、申請書記載値（約 569℃）には有意に影響を与えない。

（2）原子炉冷却材喪失（以下、「LOCA」という。）

LOCA 時の PCT は、APTA 時と同様に再循環ポンプ全台トリップによる炉心流量急減により生じるため、異物フィルタの採用が、LOCA 時に与える影響は、上記 APTA 時の影響と同様の傾向を示す。解析の結果、PCT は殆ど変化なく（℃未満）、申請書記載値（約 600℃）に有意に影響を与えない。

（3）主蒸気管破断（以下、「MSLBA」という。）

MSLBA 時の炉心流量は、APTA 及び LOCA 時と同様に急減するが、解析の結果、PCT は殆ど変化なく（℃未満）、申請書記載値（約 569℃）に有意に影響を与えない。

被ばく評価に用いられている冷却材流出量に関しては若干増加する（蒸気、水についてそれぞれ kg、kg）が、冷却材流出量（蒸気について約 1.6×10^4 kg、水について約 2.4×10^4 kg）と比較して問題とならない範囲の変動にとどまっている。

（4）燃料集合体の落下（以下、「FHA」という。）

FHA 時の燃料破損本数評価では、破損本数を多めに見積もるように燃料集合体総質量（約 kg）を切り上げて kg/体と設定している。一方、現行異物フィルタ付き燃料の総質量は異物フィルタなし燃料より約 g 減少しており、設置許可における解析

条件に包絡されている。また、新型異物フィルタ付き燃料の総質量は約 kg であり、設置許可における解析条件に包絡されている。

2. 3 安定性への影響評価

新型異物フィルタ付き下部タイプレートでは、局所（単相部）圧損が僅かながら増加することにより、設置許可条件（異物フィルタなし燃料）での解析結果と比べ、チャンネル水力学的安定性減幅比は、およそ 程度小さくなる。（安定性が改善する。）

他方で、下端厚肉チャンネルボックス（漏えい流量制御板なし）を採用していることに伴い、チャンネル内冷却材流量が僅かに減少する。この効果により、チャンネル水力学的安定性減幅比は、およそ 程度大きくなる。（安定性が悪化する。）

これらの効果が互いに打ち消す方向となり、新型異物フィルタ付き下部タイプレートを採用した場合の減幅比は、設置許可における解析結果とほぼ同等になる。また、チャンネル水力学的安定性が同等のことから、核と熱水力が結合する安定性である炉心安定性、領域安定性減幅比についても同等となる。

2. 4 核特性、熱水力特性

新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用に伴う設計変更箇所は下部タイプレート周辺であり、燃料有効長部には影響が無いため、新型異物フィルタ付き燃料の核特性は、異物フィルタなし燃料、現行異物フィルタ付き燃料と同等となる。また、新型異物フィルタ付き燃料の集合体圧損は現行異物フィルタ付き燃料と同等であり、異物フィルタなし燃料よりも %程度大きいのみである。

以上から、新型異物フィルタ付き燃料を装荷した場合でも、運転制限値を遵守した運転を行うことは十分可能である。

2. 5 制御棒挿入性

制御棒がチャンネルボックスと直接接触する部位は制御棒ガイドローラであるが、制御棒ガイドローラは下端厚肉チャンネルボックスの厚肉部より上部に位置することから、下端厚肉チャンネルボックスを採用した場合でも制御棒の挿入性には影響ない。

また、厚肉部は、ほぼ下部タイプレートとの嵌合範囲であるため、燃料集合体の固有振動数及び相対変位には殆ど影響を与えない。したがって、地震時を含め、制御棒挿入性に影響を与えない。

2. 6 水力振動特性

新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用による水力振動特性への影響を試験により評価した。試験条件、試験結果を添付 5 図 2 に示すが、新型異物フィルタ付き燃料の水力振動特性は異物フィルタなし燃料と同等であり、振動に伴う被覆管応力や保持部に

おけるフレッティング摩耗は問題にならないものと考えられる。

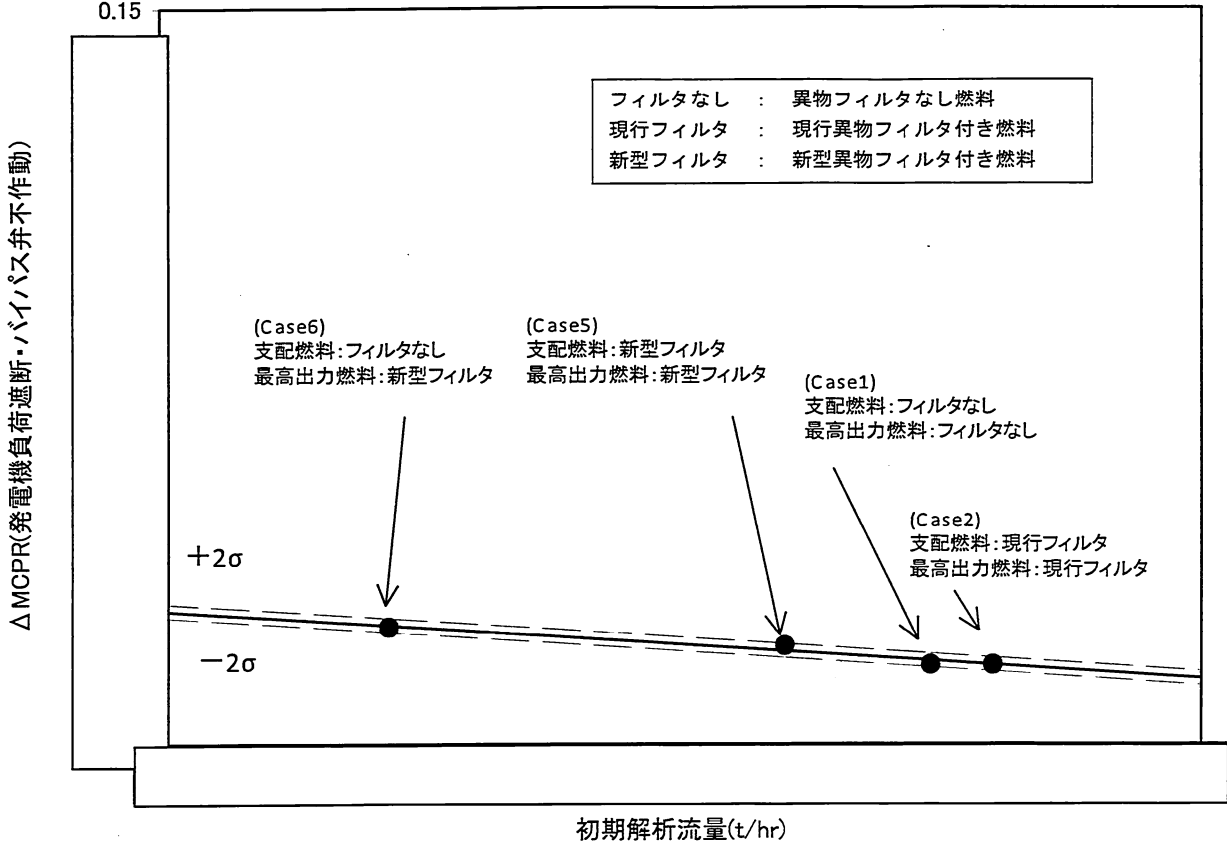
2. 7 下部タイプレート機械強度

新型異物フィルタ付き下部タイプレートの機械強度を試験により評価した。試験条件、試験結果を添付 5 図 3 に示すが、新型異物フィルタ付き下部タイプレートの荷重特性は異物フィルタなし下部タイプレートと同等であり、取扱時の最大荷重に余裕を見込んだ過重である 以上を負荷しても弾性範囲にとどまることから、機械強度は十分である。

2. 8 その他の設計変更に伴う影響について

新型異物フィルタ付き下部タイプレート採用に伴い、下部タイプレート、チャンネルボックス設計変更の他に、燃料棒下部端栓シャンク長さ、ウォータロッド下部端栓長さ及び形状、ウォータロッド上部端栓の形状（併せて上部タイプレートのウォータロッド用穴形状）を変更しているが、これらは 2. 1 から 2. 6 に示した評価に影響を与えるものではない。ウォータロッド用穴形状を変更する上部タイプレートについても、変更が軽微であることから機械強度は十分保たれる。

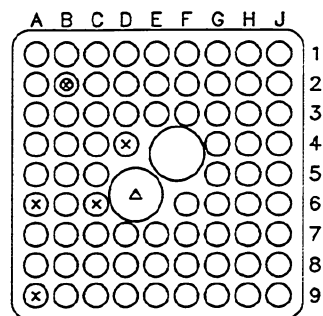
以上



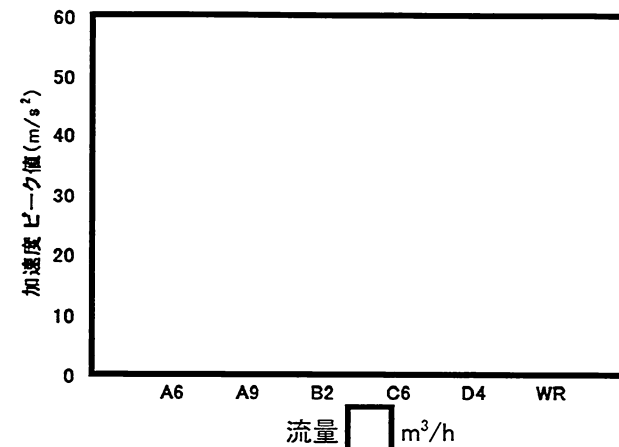
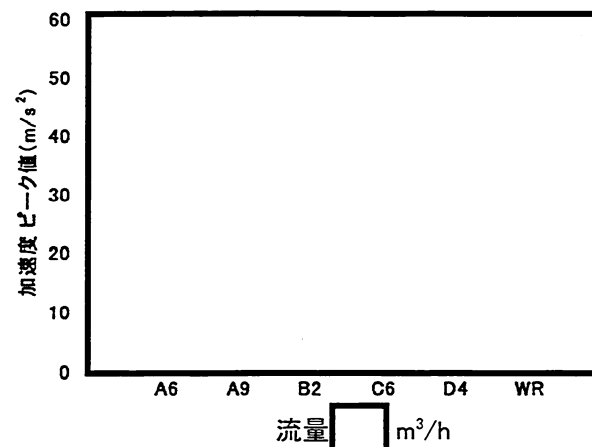
添付 5 図 1 初期解析流量と ΔMCPR の関係

添付 5-8

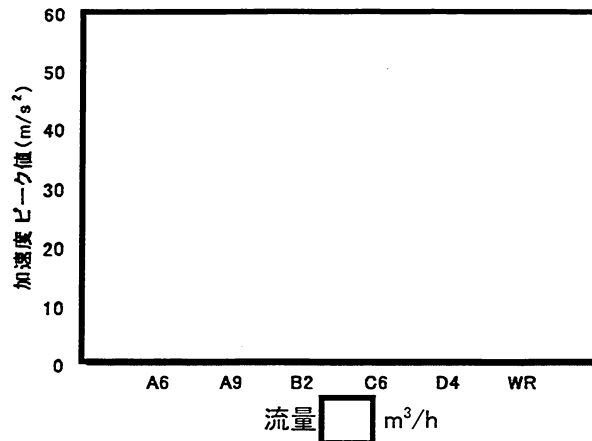
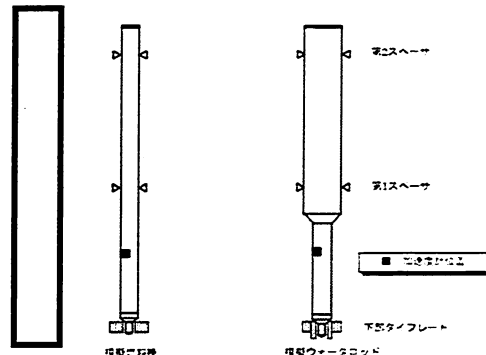
□内は商業機密情報であり公開できません



- × 燃料棒（標準）
- ⊗ 燃料棒（部分長）
- △ ウォータロッド



下部タイププレート
上からの距離 (mm)



※標準タイプ LTP: 異物フィルタなし下部タイププレート
Defender タイプ LTP: 新型異物フィルタ付き下部タイププレート

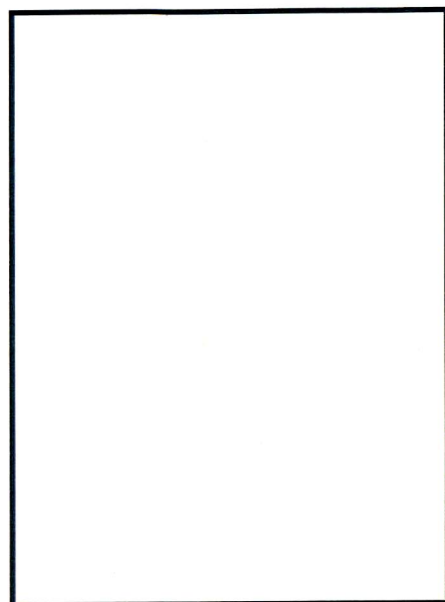
試験条件

- ・ 温度/圧力:
- ・ 供試体: 短尺模擬燃料集合体 (2 スパン長模擬), 9×9 燃料(A 型)用下部タイププレート(新型異物フィルタ付き/無し)

添付 5 図 2 水力振動特性

添付 5-9

内は商業機密情報であり公開できません



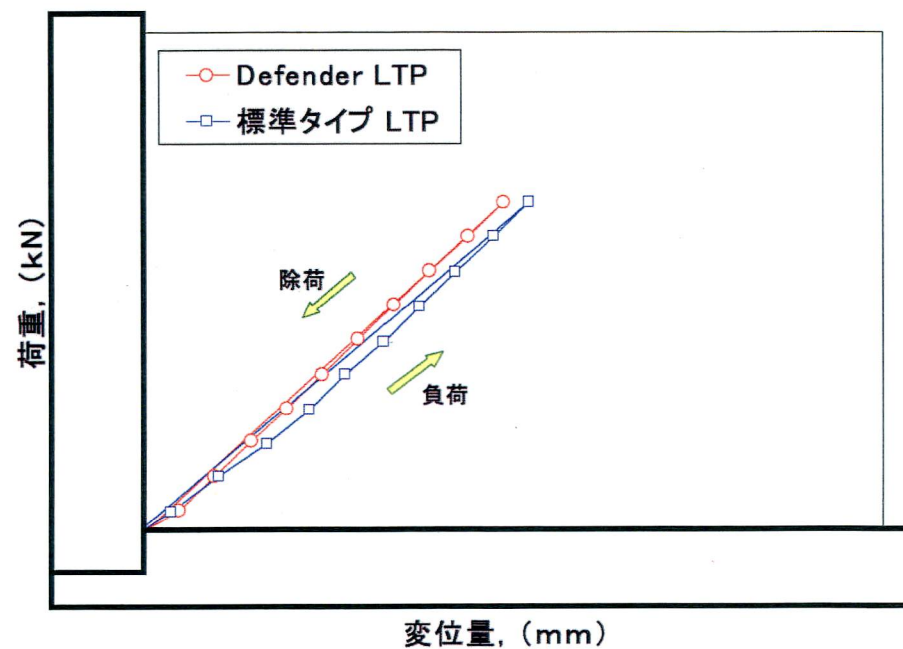
試験装置

試験方法

- ・

試験条件

- ・ 試験対象: 9×9 燃料(A 型)用下部タイププレート
(新型異物フィルタ付き／無し)
- ・ 荷重: 以上
- ・ 温度:



※標準タイプ LTP: 異物フィルタなし下部タイププレート
Defender タイプ LTP: 新型異物フィルタ付き下部タイププレート

添付5図3 機械強度試験

添付 5-10

内は商業機密情報であり公開できません