

法令適用事前確認手続照会書の一部補正について

原管発官23第683号

平成24年 3月13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

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号

東京電力株式会社

取締役社長 西 澤 俊 夫

平成24年2月14日付け原管発官23第635号をもって提出しました法令適用事前確認手続照会書について、別添のとおり一部補正いたします。

以 上

(補正項目)

添付5 9×9燃料（A型）用新型異物フィルタ（Defender）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（柏崎刈羽6/7号炉）

(補正内容)

「添付5 9×9燃料（A型）用新型異物フィルタ（Defender）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（柏崎刈羽6/7号炉）」を以下のとおり
補正する。

枚目	行	補正前	補正後
1	下から1行 の次	(追加)	ΔMCPR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。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）※1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。 ※1 チャンネルボックス内を流れる冷却材流量は、燃料から冷却材への熱伝達に影響する。炉心全体におけるチャンネル外を流れる冷却材流量が変化することの影響（炉心平均ボイド率の変化によるボイド係数への影響）は後で述べる。
2	上から2行	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）	初期解析流量
2		表1 燃料の組み合わせと炉心圧損，初期解析流量，ΔMCPR	別紙1の表に変更する。

枚目	行	補正前	補正後
4	上から18行 の次	(追加)	以下に、9×9 燃料 (B 型) との混在に関する考察を示す。 9×9 燃料 (B 型) と従来 LTP 9×9 燃料 (A 型) の圧力損失が同程度であることから、Defender 9×9 燃料 (A 型) が最高出力燃料、9×9 燃料 (B 型) が支配燃料となる場合は、表 1 における Case8 の評価に包絡され则认为られる。また、9×9 燃料 (B 型) が最高出力燃料、Defender 9×9 燃料 (A 型) が支配燃料となる場合には、Defender 9×9 燃料 (A 型) の圧損が従来 LTP 9×9 燃料 (A 型) より大きいため、最高出力 9×9 燃料 (B 型) の初期解析流量は増加し、支配燃料が従来 LTP 9×9 燃料 (A 型) の場合と比較して ΔMCPR は小さくなると考えられる。したがって、9×9 燃料 (B 型) との混在を考慮しても、OLMCPR は変わらないと认为られる。
4	上から 6 行	実施ところ	実施したところ
5	上から12行	異物フィルタの採用よる 炉心圧損の増加による影 響	異物フィルタの採用による炉心 圧損増加の影響
7		図 1 初期解析流量と Δ MCPR の関係	別紙 2 の図に変更する。

なお、各枚目の欄外に「添 5 - ○○」の書式でページ番号を追加する。

参考として、補正後の「添付 5 9×9 燃料 (A 型) 用新型異物フィルタ (Defender) 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 (柏崎刈羽 6/7 号炉)」を添付する。

表 1 燃料の組み合わせと炉心圧損, 初期解析流量, Δ MCPR

評価 ケース	支配燃料 (871 体)	最高出力 燃料(1 体)	炉心圧損 [MPa]	初期解析 流量※2 [$\times 10^3$ kg/hr]	Δ MCPR (SLMCPR + Δ MCPR)		OLMCPR
					事象 A	事象 B	
Case1※3	従来 LTP	従来 LTP		(基準)			1.22
Case2※3	従来 LTP	DFLTP		(-0.6%)			
Case3※3	DFLTP	従来 LTP		(+0.6%)			
Case4	DFLTP	DFLTP		(+0.1%)			
Case5	DFLTP	Defender		(-0.3%)	—	—	—
Case6	Defender	DFLTP		(+0.2%)	—	—	—
Case7	Defender	Defender		(-0.2%)	—		—
Case8※3	従来 LTP	Defender		(-0.9%)	—		—

※2 設置許可における解析点(出力 102%, 炉心流量 90%)での評価。炉内における最高出力燃料を想定し、
燃料集合体平均燃焼度 GWd/t 相当で評価した。

※3 柏崎刈羽 6/7 号炉は、全数 DFLTP 燃料となっており、今後、従来 LTP 燃料が支配的となることは無い。

内は商業機密情報であり公開できません

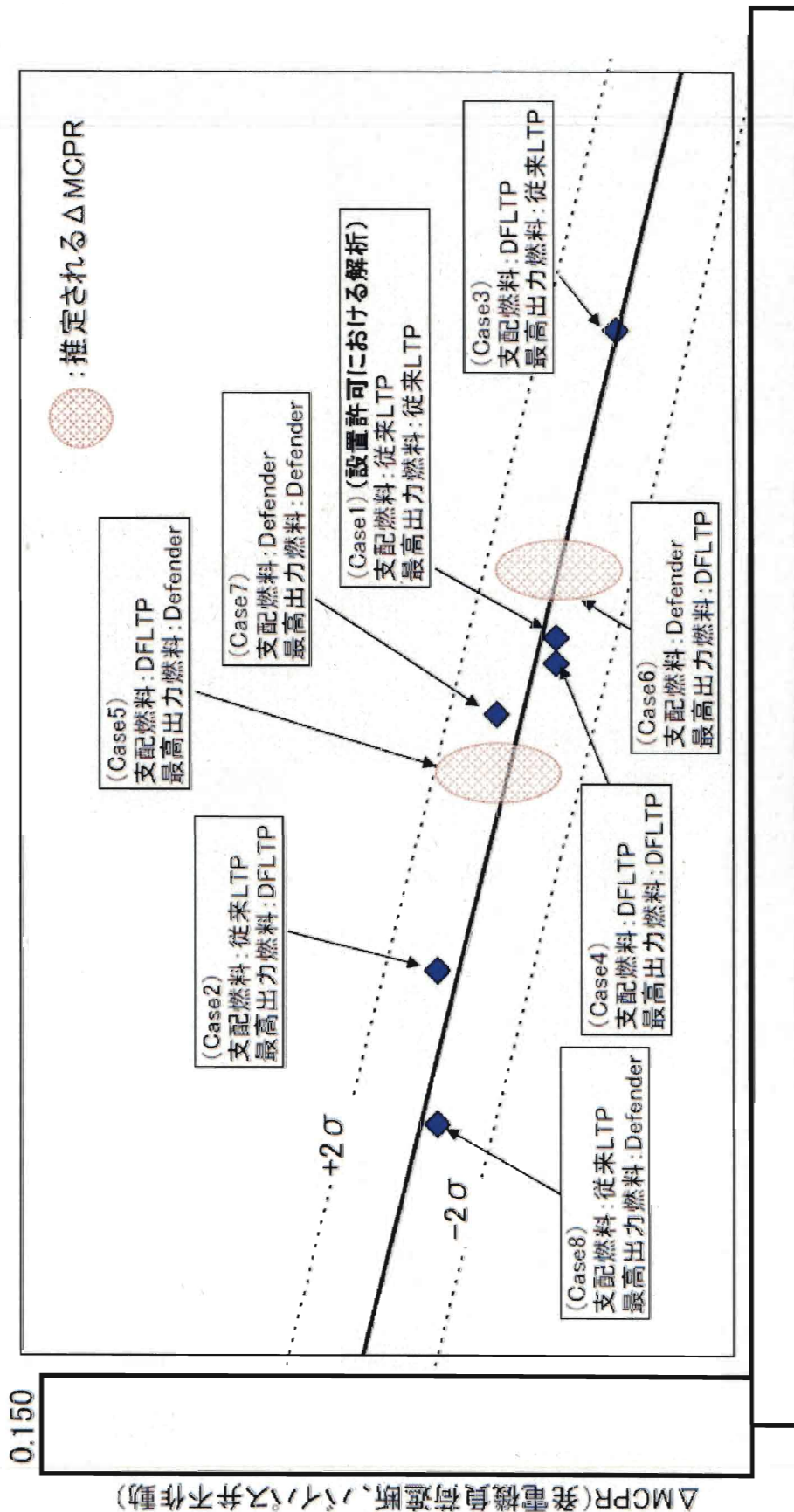


図1 初期解析流量と△MCPRの関係

内は商業機密情報であり公開できません

9×9 燃料(A 型)用新型異物フィルタ(Defender)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(柏崎刈羽 6/7 号炉)

1. はじめに

本書では、柏崎刈羽 6/7 号炉を対象に、9×9 燃料(A 型)に新型異物フィルタ(Defender)付き下部タイプレートを適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

Defender 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の制限値(OLMCPR)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)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。

(1)OLMCPR への影響評価

OLMCPR は、MCPR に関する燃料の許容設計限界(SLMCPR)と、運転時の異常な過渡変化時における MCPR の変化量(Δ MCPR)が最も大きいものの和として定義される。以下に Defender 付き下部タイプレートを導入した場合の SLMCPR, Δ MCPR の影響について評価した。

a. SLMCPR への影響

SLMCPR は炉心の CPR 分布に影響を受ける(MCPR に近い CPR となる燃料が多いほど厳しい)。Defender 付き下部タイプレートを適用しても、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の無い 9×9 燃料(A 型)と同等であるため、炉内の CPR 分布への影響は非常に小さい。このため、Defender 付き下部タイプレートの導入により SLMCPR は変わらない。

b. Δ MCPR, OLMCPR への影響

許可を得ている異物フィルタの無い従来型下部タイプレート燃料(従来 LTP 燃料)、現行異物フィルタ付き下部タイプレート燃料(DFLTTP 燃料)及び Defender 付き下部タイプレート燃料(Defender 燃料)の混在炉心における Δ MCPR 評価から、Defender 燃料の採用が Δ MCPR に与える影響について考察した。

以下に対象事象、対象炉心を示す。対象事象としては、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 が給水加熱喪失事象の次に大きく、かつ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、バイパス弁不作動)とし、それぞれについて許可を得ている OLMCPR の変更が不要であることを確認した。

対象炉心: 柏崎刈羽 6/7 号炉 9×9 燃料(A 型)炉心

対象事象: A 給水加熱喪失【サイクルを通しての OLMCPR 決定事象】

B 負荷の喪失(発電機負荷遮断、バイパス弁不作動)【 Δ MCPR が事象 A の次に大きく、かつ圧損特性の影響を受けやすい事象】

△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。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)^{※1}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。

※1 チャンネルボックス内を流れる冷却材流量は、燃料から冷却材への熱伝達に影響する。炉心全体におけるチャンネル外を流れる冷却材流量が変化することの影響(炉心平均ボイド率の変化によるボイド係数への影響)は後で述べる。

異物フィルタ、下部タイプレート周りの設計変更に伴い、△MCPR 評価に影響のある炉心圧損、初期解析流量が変化する。従来 LTP 燃料、DFLTP 燃料、Defender 燃料の組み合わせによる炉心圧損、初期解析流量と、それぞれの組み合わせを考慮した△MCPR評価値を表1に示す。また、図1に、事象Bにおける初期解析流量と△MCPR の関係を示すが、事象Bにおいては図1のとおりに初期解析流量と△MCPR には相関関係があり、初期解析流量から△MCPR は推定可能である。

表1 燃料の組み合わせと炉心圧損、初期解析流量、△MCPR

評価 ケース	支配燃料 (871 体)	最高出力 燃料(1 体)	炉心圧損 [MPa]	初期解析 流量 ^{※2} [×10 ³ kg/hr]	△MCPR (SLMCPR+△MCPR)		OLMCPR
					事象 A	事象 B	
Case1 ^{※3}	従来 LTP	従来 LTP		(基準)			1.22
Case2 ^{※3}	従来 LTP	DFLTP		(-0.6%)			
Case3 ^{※3}	DFLTP	従来 LTP		(+0.6%)			
Case4	DFLTP	DFLTP		(+0.1%)			
Case5	DFLTP	Defender		(-0.3%)	—	—	—
Case6	Defender	DFLTP		(+0.2%)	—	—	—
Case7	Defender	Defender		(-0.2%)	—		—
Case8 ^{※3}	従来 LTP	Defender		(-0.9%)	—		—

※2 設置許可における解析点(出力 102%、炉心流量 90%)での評価。炉内における最高出力燃料を想定し、燃料集合体平均燃焼度 GWd/t 相当で評価した。

※3 柏崎刈羽 6/7 号炉は、全数 DFLTP 燃料となっており、今後、従来 LTP 燃料が支配的となることは無い。

以下に、初期解析流量に関する考察を示す。

- DFLTP 燃料、Defender 燃料の圧損は従来 LTP 燃料より大きいいため、炉心の大多数を占める(支配)燃料を従来 LTP 燃料とし、最高出力燃料を DFLTP 燃料とした場合(Case2)及び最高出力燃料を Defender 燃料とした場合(Case8)は初期解析流量が低流量側に若干シフトする。

トする。

- Defender 燃料の圧損は DFLTTP 燃料と同等であるため、Defender 燃料を装荷した場合の炉心圧損は DFLTTP 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。(Case5,7,8)

以下に、事象 A(給水加熱喪失事象)の Δ MCPR に関する考察を示す。

- 事象 A は、給水温度低下(入口エンタルピが低下)によりボイドが潰れ、出力が上昇しスクラムに至る事象である。Case1 から Case4 において初期解析流量が $\pm 0.6\%$ 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。
- 事象 A における各パラメータの Δ MCPR への影響を表 2 に示す。事象中の 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(サブクールの増加)により限界出力が向上し、 Δ MCPR が小さくなる効果である。
- 事象中のチャンネル内流量の減少(限界出力の低下)が Δ MCPR に与える影響は、 Δ MCPR 全体の %程度と小さいことから、設計変更によりチャンネル内流量変化率が僅かに変化した場合でも限界出力の低下に伴う Δ MCPR への影響は小さい。
- また、表 3 に事象 A を、炉心流量が高流量側と低流量側で解析した結果を示す。両者では初期解析流量が大きく異なっているが Δ MCPR の差異は と小さいことから、事象 A において初期解析流量が Δ MCPR に与える影響は小さいと言える。
- 事象中のチャンネル内流量の変化率はいずれのケースにおいても殆ど影響を受けず、以上の考察から、いずれのケースにおいても事象 A の Δ MCPR が OLMCPR の変更を要する 0.150 は超えることはないと判断した。

表 2 事象 A(給水加熱喪失)時の各パラメータ変化の Δ MCPR への寄与

	初期状態	スクラム時	Δ MCPR への寄与割合	
出力(MW)	7.60	8.76		
質量流量(kg/m ² /s)	1.19×10^3	1.17×10^3		
圧力(MPa)	7.27	7.31		
入口エンタルピ(kJ/kg)	1221	1189		
Δ MCPR	—	—		

(柏崎刈羽 6/7 号炉 9x9 燃料(A 型) 給水加熱喪失(申請解析)ベース)

表 3 高流量側, 低流量側で評価した事象 A 時の Δ MCPR

	炉心流量	初期解析流量	Δ MCPR
低流量側	90%	t/h	
高流量側	111%	t/h	

(柏崎刈羽 6/7 号炉 9x9 燃料(A 型) 給水加熱喪失(申請解析)ベース)

以下に, 事象 B(負荷の喪失)の Δ MCPR に関する考察を示す。

- ・ 事象 B 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ため, Δ MCPR は初期解析流量に感度を持ち, 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)(図 1)。
- ・ 柏崎刈羽 6/7 号炉については, 既に炉内の全燃料が DFLTP 燃料になっていることから, 支配燃料が従来 LTP 燃料, 最高出力燃料が Defender 燃料である Case8 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 Case8 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, 柏崎刈羽 6/7 号炉については炉内の全燃料が DFLTP 燃料(Case4)となっており, DFLTP 燃料支配炉心に最高出力燃料のみ Defender 燃料とした場合(Case5)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, 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若干増加するため, 炉心平均ボイド率も僅かながら増加する。炉心平均ボイド率の変化はボイド係数を変化させ, プラント過渡挙動, Δ MCPR を変化させるが, Defender を全炉心に装荷した場合の炉心平均ボイド率の増加は約 %であり, これがボイド係数へ与える影響は %程度(負の絶対値が大きくなる方向)である。ボイド係数 %の変化が Δ MCPR に与える感度は 未満と小さいことから, 設計変更に伴う炉心平均ボイド率の変化により OLMCPR は変わらない。

以下に, 9x9 燃料(B 型)との混在に関する考察を示す。

9x9 燃料(B 型)と従来 LTP 9x9 燃料(A 型)の圧力損失が同程度であることから, Defender 9x9 燃料(A 型)が最高出力燃料, 9x9 燃料(B 型)が支配燃料となる場合は, 表 1 における Case8 の評価に包絡されると考えられる。また, 9x9 燃料(B 型)が最高出力燃料, Defender 9x9 燃料(A 型)が支配燃料となる場合には, Defender 9x9 燃料(A 型)の圧損が従来 LTP 9x9 燃料(A 型)より大きいため, 最高出力 9x9 燃料(B 型)の初期解析流量は増加し, 支配燃料が従来 LTP 9x9 燃料(A 型)の場合と比較して Δ MCPR は小さくなると考えられる。したがって, 9x9 燃料(B 型)との混在を考慮しても, OLMCPR は変わらないと考えられる。

(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、Defender 燃料と DFLTP 燃料のフィルタ圧損特性が同程度であること、(1)で述べたとおり、チャンネルボックス外への漏えい流量の差異による影響は小さいことから、DFLTP 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、原子炉冷却材の喪失、主蒸気管破断)を選定し、判断基準については、圧損変化の感度が最も大きい被覆管最高温度(PCT)を評価した。

下記に、柏崎刈羽 6/7 号炉に DFLTP 燃料を採用した際の評価を示すが、DFLTP 燃料採用による事故時評価への影響は、以下に示すとおり設置許可における解析値(従来 LTP 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。DFLTP 燃料と Defender 燃料の圧損等の特性は大きく変わらないことから、Defender 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、Defender 燃料の質量確認を行い、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。

a. 原子炉冷却材流量の喪失(APTA)

異物フィルタを採用することにより炉心圧損が僅かに増加する場合があります、この場合、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、被覆管最高温度(PCT)が若干上昇する(□℃未満)が、解析値(約 563℃)と比較して問題とされない範囲にとどまっている。

b. 原子炉冷却材喪失(LOCA)

LOCA 時の PCT は、APTA 時と同様 RIP 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 感度解析結果と同様の傾向を示すことが予想できる。従って PCT に有意な影響を与えないと判断する。

c. 主蒸気管破断(MSLBA)

MSLBA 時の炉心流量は APTA 時及び LOCA 時と同様に急減するが、APTA 感度解析結果と同様、異物フィルタの採用による炉心圧損増加の影響はほとんどなく、PCT についてはむしろ僅かに低下する。(□℃未満)。

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 未満)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)と比較して問題とされない範囲の変動にとどまっている。

d. 燃料集合体の落下(FHA)

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、DFLTP 燃料の総質量は従来 LTP 燃料より約□g 減少しており、設置許可における解析条件で包絡されている。また、Defender

燃料の総質量は約 kg であり、設置許可における解析条件で包絡されている。

(3) 安定性への影響評価

安定性については代表的にチャンネル熱水力学的安定性について検討を行った。チャンネル熱水力学的安定性は下記の効果が相殺することにより、設置許可における解析結果に対してほぼ同等となる。

- ・ Defender 付き下部タイプレートによって単相部の圧損が大きくなることにより、設置許可解析条件(従来 LTP 燃料)での解析結果と比べ、チャンネル熱水力学的安定性減幅比は 程度小さくなる(安定性が改善する)。
- ・ 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り、チャンネル内流量は若干減少するが、チャンネル内流量が 1%程度減少した場合の安定性減幅比への影響は、 程度である(安定性が悪化する)。

(4) 核特性、熱水力特性

Defender 付き下部タイプレート導入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、Defender 燃料の核特性は従来 LTP 燃料、DFLTP 燃料と同等となる。また、Defender 燃料の集合体全圧損はDFLTP 燃料と同等であり、従来 LTP 燃料よりも % 程度大きいのみである。

以上から、Defender 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。

(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、チャンネルボックスの固有振動数及び燃料集合体の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。

(6) 水力振動特性

Defender 付き下部タイプレート適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、試験結果を図2に示すが、Defender燃料の水力振動特性は従来LTP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ト磨耗は問題にならないものと考えられる。

(7) 下部タイプレート機械強度

Defender 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、試験結果を図 3 に示すが、Defender 付き下部タイプレートの荷重特性は異物フィルタの無い従来型下部タイプレ

ートと同等であり、取扱時の最大荷重に余裕を見込んだ荷重である 以上)を負荷しても弾性範囲に留まることから、機械強度は十分である。

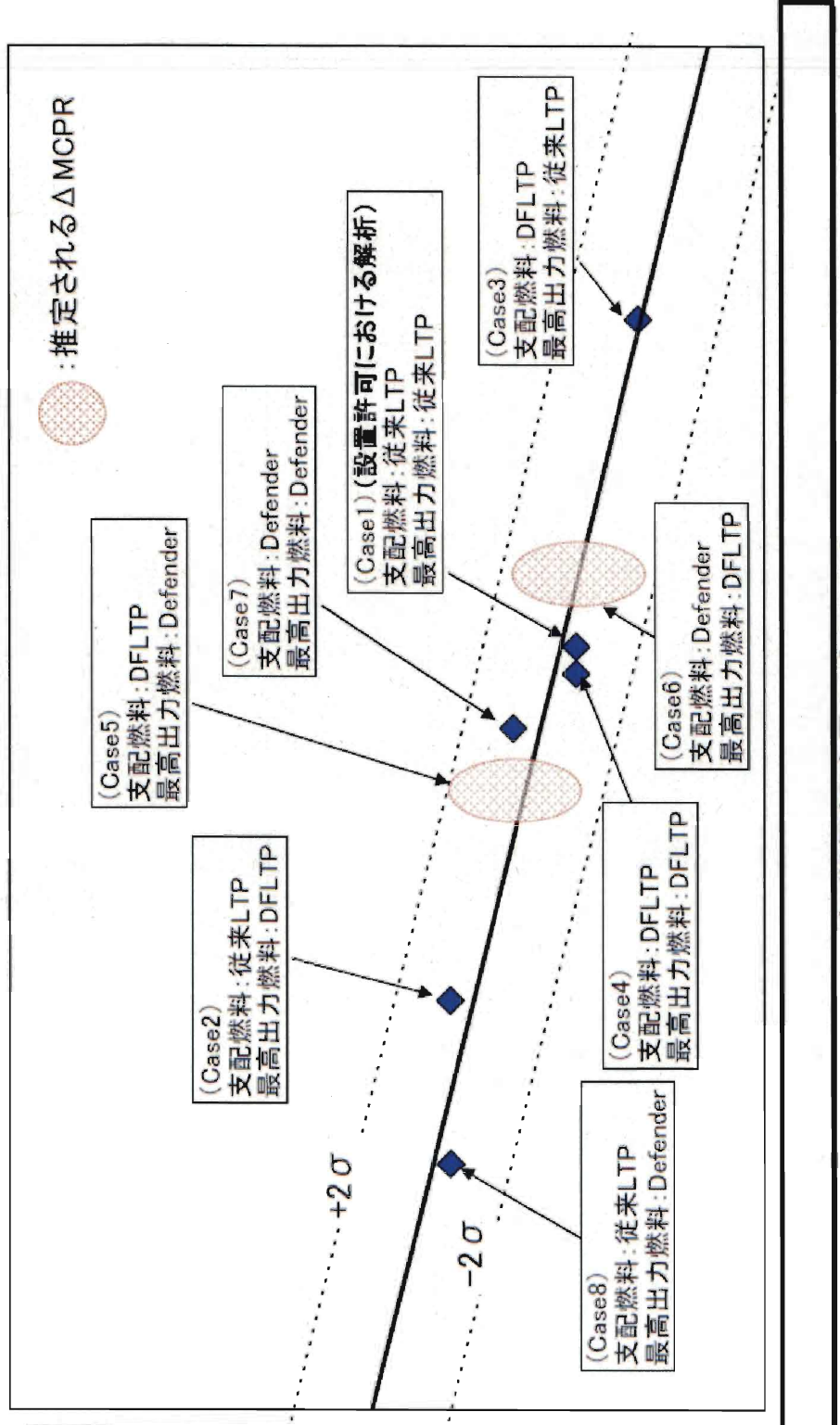
(8)その他の設計変更に伴う影響について

Defender 付き下部タイプレート導入に伴い、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、ウォーターロッド下部端栓長さ及び形状、ウォーター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ーロッド用穴形状)を変更しているが、これらは(1)から(6)項で述べた評価に影響を与えるものではない。ウォーター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

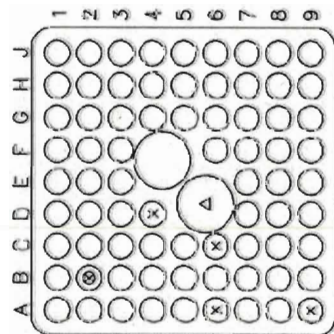
0.150

ΔMCPR(発電機負荷遮断、パイパス井不作動)

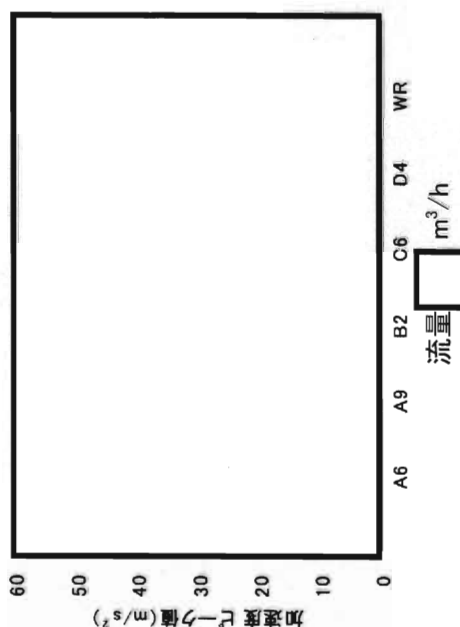
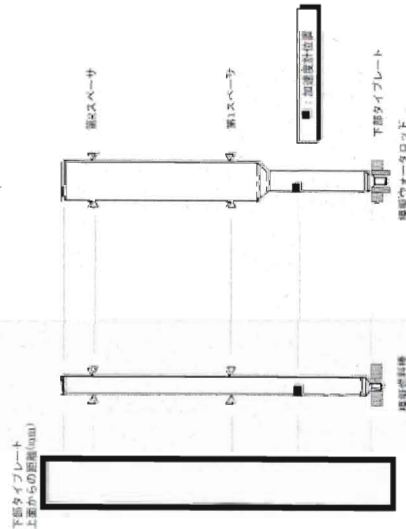
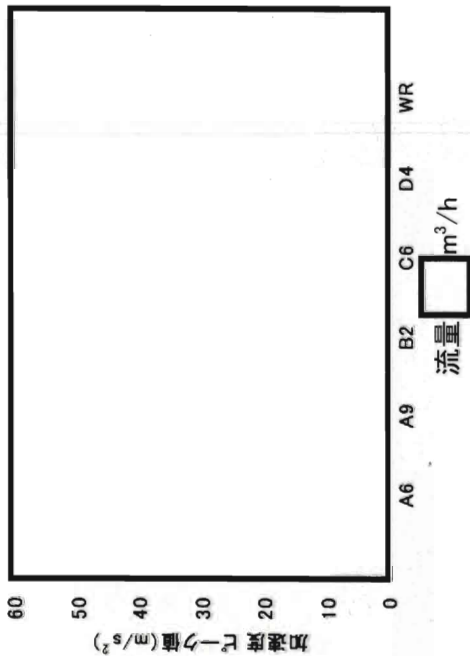
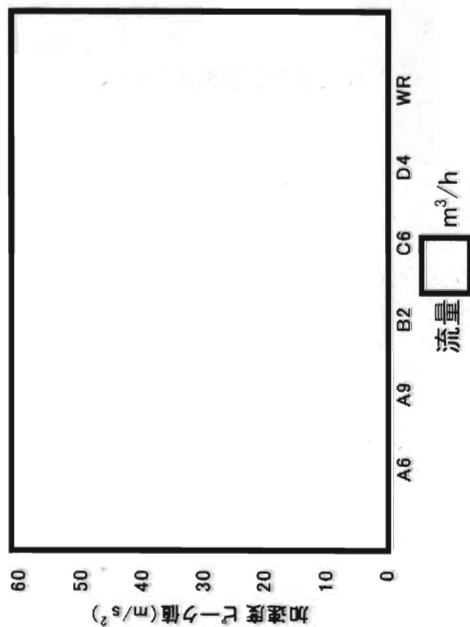


初期解析流量(10³kg/hr)

図1 初期解析流量とΔMCPRの関係



- × 燃料棒 (標準)
- ⊗ 燃料棒 (部分欠)
- △ ツォータロッド

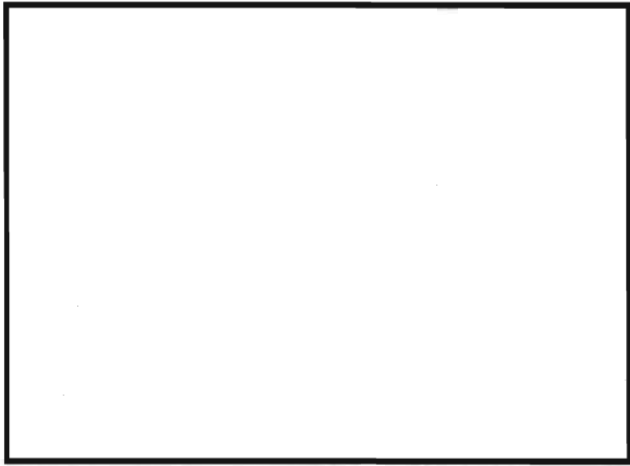


試験条件

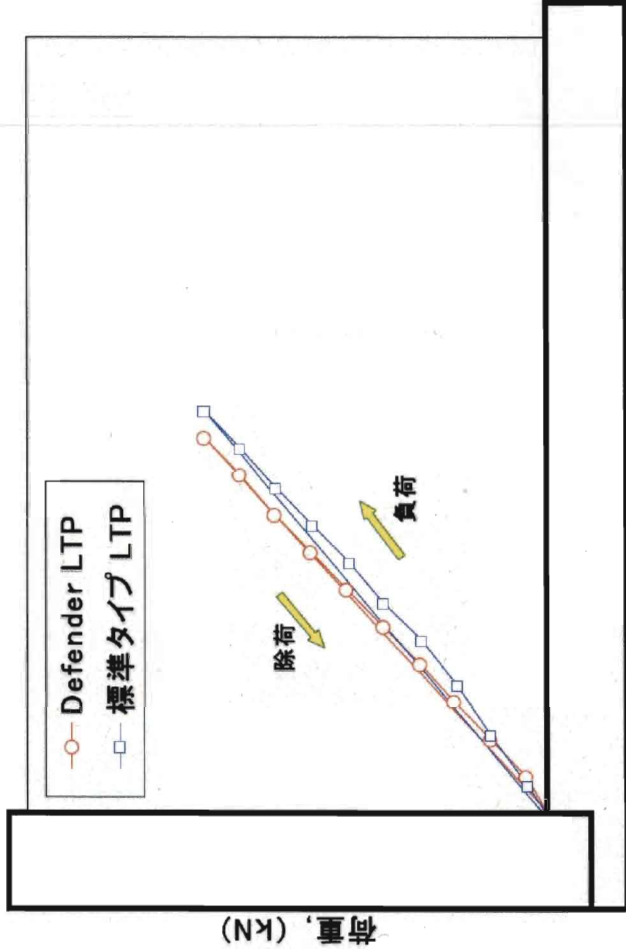
- ・ 温度/圧力
- ・ 供試体: 短尺模擬燃料集合体 (2 スパン長模擬), 9 × 9 燃料 (A 型) 用下部タイプレート (Defender 付き/無し)

※標準タイプ LTP: 異物フィルタの無い従来 LTP

図2 水力振動特性



試験装置



※標準タイプ LTP: 異物フィルタの無い従来 LTP

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(Defender 付き/無し)
- 荷重: 約 以上
- 温度:

図3 機械強度試験