

令和2年10月26日
東京電力ホールディングス株式会社
北陸電力株式会社
中国電力株式会社
電源開発株式会社

BWR クロスビームプラントの燃料支持金具オリフィスの圧力損失に係わる
米国 GEH 社からのレター発行について

1. はじめに

2020年6月24日付でGEH社からBWRクロスビームプラントの燃料支持金具オリフィスの圧力損失に係わるレター (Part 21 Report (Log No. 2020-20-00)) がNRCに提出された。以下、レターの内容、および国内BWRプラントへの影響についてまとめる。

2. クロスビーム構造

炉心支持板の概要図を図1に示す。炉心支持板はステンレス鋼製で、多孔円板（支持板）を梁（補強ビーム）で補強した構造をしており、支持板の穴は燃料支持金具（中央は4体、周辺は1体の燃料集合体を支持）、制御棒案内管及び中性子計装管の水平方向を支持している。

炉心支持板には、図2に示すとおり、支持板を1方向の補強ビームで補強した構造のものと支持板を直交する2方向の補強ビームで補強した構造のものがあり、後者をクロスビーム構造と呼んでいる。

国内でクロスビーム構造の炉心支持板を採用しているプラントは以下に示すとおりである。

BWR-5：島根2号炉

ABWR：柏崎刈羽6, 7号炉, 志賀2号炉, 島根3号炉, 大間

3. レターの内容

レターの内容は以下のとおり。

- ・Part 21 Report の要旨は、BWR6 プラント炉心支持板クロスビーム部にあ
る中性子計装案内管ガイドブロック構造物（図3右図参照、以下「ガイド
ブロック」という）の影響を考慮すると、当該ガイドブロックに面する燃
料支持金具の入口オリフィス圧損が設計値より大きくなり、当該位置の燃
料集合体への流量配分に影響を及ぼしCPRが0.02程度悪化するため、当
該バンドルのCPRに対しペナルティを設けるか、炉心性能計算機のオリフ

イス圧損係数の変更による監視を推奨するというもの。

- ・米国プラントの直近の運転サイクルに対し、圧損係数増加による影響を評価したところ、一部の燃料の CPR は悪化するが、MCPR の運転上の制限値以上で運転できているため、安全上の影響はないとしている。

4. 影響評価

(1) CPR 評価への影響

a) 当該オリフィス部の圧損係数の評価

過去に実施した実機大試験のデータに基づき、ガイドブロックの投影面積を考慮した流路面積相当の圧損係数を評価した。BWR-5（島根 2 号炉），ABWR それぞれのガイドブロックを考慮したオリフィス部の圧損係数評価結果を表 1 に示す。

b) CPR の評価

① 炉心熱水力解析コードによる影響評価

上述のガイドブロックの影響を受ける流路の圧損係数を用いて、炉心熱水力解析コードにより CPR を評価し、影響を受けない場合と比較した。圧損係数が増加した場合、当該チャンネルはチャンネル流量が減少し、ボイドが増加することにより、燃料集合体出力は減少することになるが、ここでは当該燃料の出力減少を考慮せず、圧損係数のみを変えた評価とした。本評価はこのような保守的な条件により影響を包絡的に確認するものであり、9×9 燃料は代表として 9×9 燃料（A 型）について評価した。その結果は、Part 21 Report の要旨と同様、CPR の減少は BWR-5 では 0.02 程度（9×9 燃料（A 型）：，MOX 燃料：）であった。なお、ABWR では 0.01 以下（）であった。

② 三次元沸騰水型原子炉模擬計算コードによる影響評価

上述のガイドブロックの影響を受ける流路の圧損係数を用いて、代表炉心に対して三次元沸騰水型原子炉模擬計算コードにより、表 2 に示すケースの感度解析を実施した。

BWR-5 については、ビーム及びガイドブロックを考慮しない状態（表 2 の①）に対して、ビームのみを考慮した場合（表 2 の②），ビーム及びガイドブロックを考慮した状態（表 2 の③），何れもサイクルを通じて MCPR は最大 1.0% 程度減少する結果となった。また、ガイドブロックの影響を確認するため、ガイドブロックの影響を受ける流路（図 4 の領域 D）の圧損係数を変えた場合（表 2 の②と③）を比較したところ、ガイドブロック部に装荷された燃料集合体の CPR は 1.0% 程度減少する結果となった。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

なお、ABWR ではガイドブロック部に装荷された燃料集合体の CPR は 0.3%程度減少する結果となった。

上述の様に、詳細に評価したところ、Part 21 Report の要旨より、MCPR に与える影響は小さいことを確認した。

③過去の運転実績に対する影響評価

過去の運転実績における MCPR について、①の炉心熱水力解析コードによる影響評価にて得られた CPR の保守的な低下量（BWR-5 では 0.02 程度、ABWR では 0.01 以下）を見込んでも、MCPR は保安規定で定める運転上の制限値を逸脱していないことを確認した。

具体例として、比較的影響が大きい島根 2 号炉について、サイクル毎の MCPR 最小値の実績を表 3 に示すが、0.02 以上の十分な余裕を持って管理できていることが分かる。また、ABWR については影響も小さく、ガイドブロック考慮による影響を見込んでも運転上の制限値を逸脱することはない。

(2)MCPR に係る運転制限値への影響

対象プラントの運転時の異常な過渡変化の解析での MCPR に係る運転制限値を決めるリミティング事象は表 4 に示すとおりである。何れのプラントも「給水加熱喪失」又は「負荷の喪失（発電機負荷遮断、タービンバイパス弁不作動）」であり、ここでは、それぞれの事象に対して、ガイドブロックの考慮が過渡時の MCPR 変化量（ Δ MCPR）へ及ぼす影響について以下に示す。

a. 給水加熱喪失

給水加熱喪失は、炉心入口サブクーリング増加により原子炉出力が漸増し、中性子束高（熱流束相当）信号により原子炉がスクラムすることにより MCPR は回復する事象である。本事象では、原子炉がスクラムに至るまで炉心流量が変化することはないため、評価結果はガイドブロックの有無による影響を受けない。

b. 負荷の喪失（発電機負荷遮断、タービンバイパス弁不作動）

負荷の喪失（発電機負荷遮断、タービンバイパス弁不作動）は、発電機負荷遮断による蒸気加減弁急速閉発生時にタービンバイパス弁不作動が重畳することによる原子炉加圧により、原子炉出力は上昇するが、蒸気加減弁急速閉信号により原子炉はスクラムし、MCPR も回復する事象である。

本評価では、まずプラント動特性解析コードにてプラント挙動を評価することになるが、ガイドブロックの有無は、ボイド係数等のプラント動特性に

支配的な影響を及ぼすパラメータに影響するものではない。

次に、初期状態において MCPR が運転制限値にあるものとして、単チャンネル熱水力解析コードにて過渡時の Δ MCPR を評価することになる。上述のとおりガイドブロックを考慮すると、当該チャンネルの初期チャンネル流量がわずかに低下することが想定される。しかしながら、単チャンネル解析は、評価すべき状態のチャンネル流量にて MCPR が運転制限値となる初期状態を作り、過渡時の Δ MCPR を評価するものであり、最高出力燃料がガイドブロックに隣接する位置にある場合を仮定しても、そのチャンネル流量にて MCPR が運転制限値となる初期状態からの MCPR の偏差を評価することに変わりはないため、ガイドブロックの効果は Δ MCPR の解析結果には影響しない。

すなわち、運転管理において、MCPR が運転上の制限値 (OLMCPR) 以上であることを確認することにより、安全解析の条件を満足していることになる。

また、その他の設計基準事象、重大事故等対策の有効性評価で評価する事象についても、ガイドブロックの有無は評価に支配的な影響を及ぼすパラメータに影響するものではないことから、ガイドブロックの効果は評価結果には影響しない。

5. 今後の予定

次サイクル以降は、炉心性能計算機のガイドブロックに隣接する位置のオリフィス圧損係数定数を変更し、運転管理を行うこととする。

以上

表1 ガイドブロックの影響によるオリフィス圧損係数の評価結果

[BWR-5 (島根2号炉)]

オリフィス位置	オリフィス口径 (mm)	圧損係数※
ビームなし (領域A)		—
片ビーム部 (領域B)		
片ビーム部+ガイドブロック (領域D)		
クロスビーム部 (領域C)		

※：領域Aに対する比で示す (領域は図4参照)

[ABWR]

オリフィス位置	オリフィス口径 (mm)	圧損係数※
ビームなし (領域A)		—
片ビーム部 (領域B)		
片ビーム部+ガイドブロック (領域D)		
クロスビーム部 (領域C)		

※：領域Aに対する比で示す (領域は図4参照)

表2 ガイドブロックの影響を確認するための感度解析ケース

[BWR-5 (島根 2 号炉)]

オリフィス位置	圧損係数*		
	①考慮なし	②ビーム考慮	③ビーム・ガイドブロック考慮
ビームなし (領域 A)	—	—	—
片ビーム部 (領域 B)			
片ビーム部+ガイドブロック (領域 D)			
クロスビーム部 (領域 C)			

※：領域 A に対する比で示す (領域は図 4 参照)

[ABWR]

オリフィス位置	圧損係数* ¹		
	①考慮なし* ²	②ビーム考慮	③ビーム・ガイドブロック考慮
ビームなし (領域 A)	—	—	—
片ビーム部 (領域 B)	—		
片ビーム部+ガイドブロック (領域 D)	—		
クロスビーム部 (領域 C)	—		

※¹：領域 A に対する比で示す (領域は図 4 参照)

※²：ABWR では接するビームの数に応じて圧損係数が同じになるように各領域でオリフィス口径を変えていることから、②と③の比較のみを行った。

表3 島根 2 号炉の MCPR 最小値の実績

サイクル	MCPR 最小値	運転制限値までの余裕
17 サイクル	1.36	0.11
16 サイクル	1.34	0.09
15 サイクル	1.34	0.09

※運転制限値は 1.25

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

表 4 運転時の異常な過渡変化の解析 MCPR 評価リミテイング事象

対象プラント	リミテイング事象
島根 2 号炉	[9×9 燃料が装荷され, MOX 燃料が装荷されるまでのサイクル] 負荷の喪失 (発電機負荷遮断, タービンバイパス弁不作動) [MOX 燃料が装荷されたサイクル以降] 給水加熱喪失 (サイクル早期炉心) 負荷の喪失 (発電機負荷遮断, タービンバイパス弁不作動) (サイクル末期炉心)
柏崎刈羽 6, 7 号炉	給水加熱喪失 負荷の喪失 (発電機負荷遮断, タービンバイパス弁不作動)
志賀 2 号炉	給水加熱喪失
島根 3 号炉	給水加熱喪失
大間	[MOX 燃料の炉心装荷体数が 360 体以下の場合] 給水加熱喪失 (サイクル早期炉心, サイクル末期炉心) 負荷の喪失 (発電機負荷遮断, タービンバイパス弁不作動) (サイクル末期炉心) [MOX 燃料の炉心装荷体数が 361 体以上の場合] 給水加熱喪失 (サイクル早期炉心) 負荷の喪失 (発電機負荷遮断, タービンバイパス弁不作動) (サイクル末期炉心)

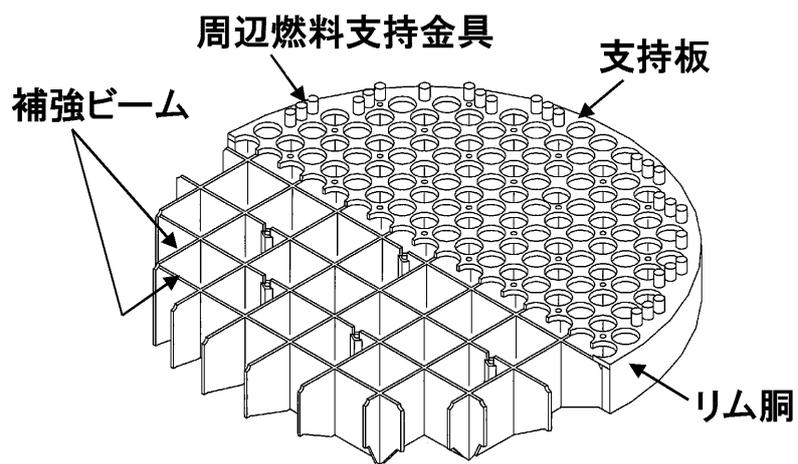
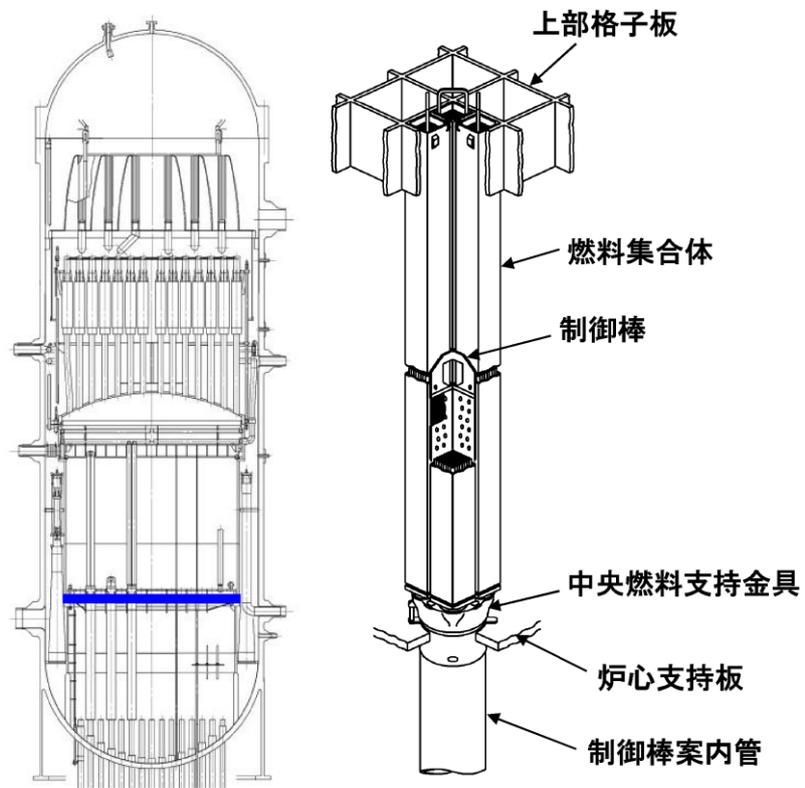
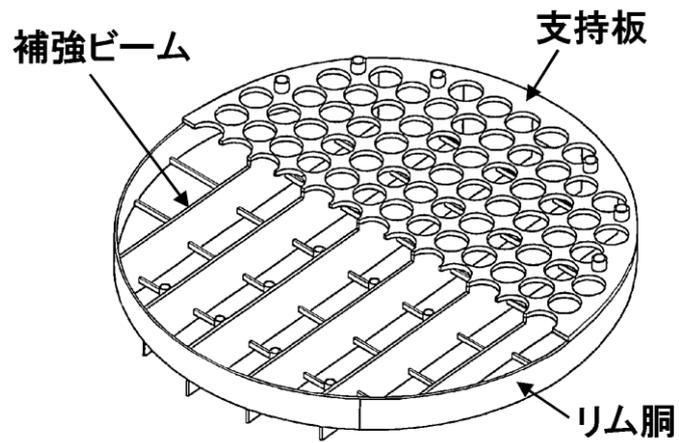
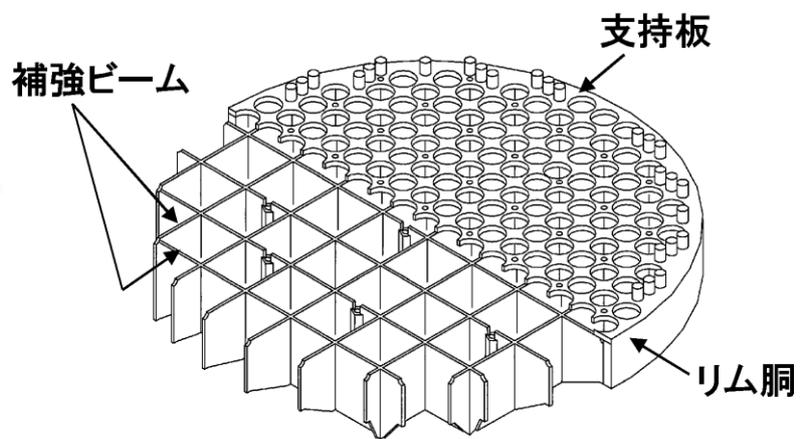


図1 炉心支持板概要図



〔支持板を1方向の補強ビームで補強した構造〕



〔支持板を直交する2方向の補強ビームで補強した構造〕
(クロスビーム構造)

図2 炉心支持板の補強概要図

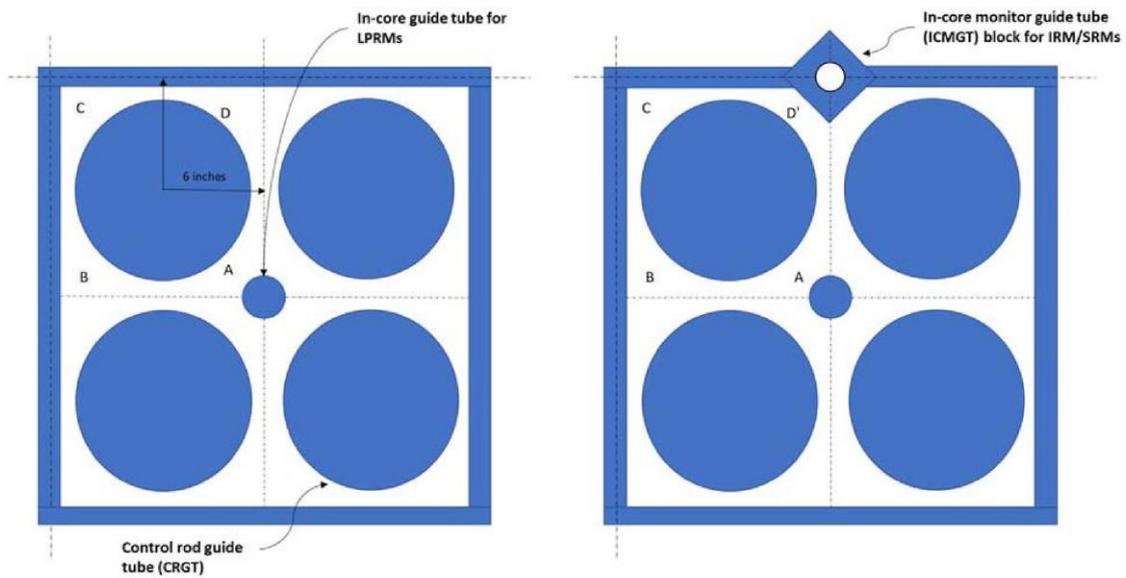


図3 クロスビームプラントにおける中性子計装案内管ガイドブロック構造概要図

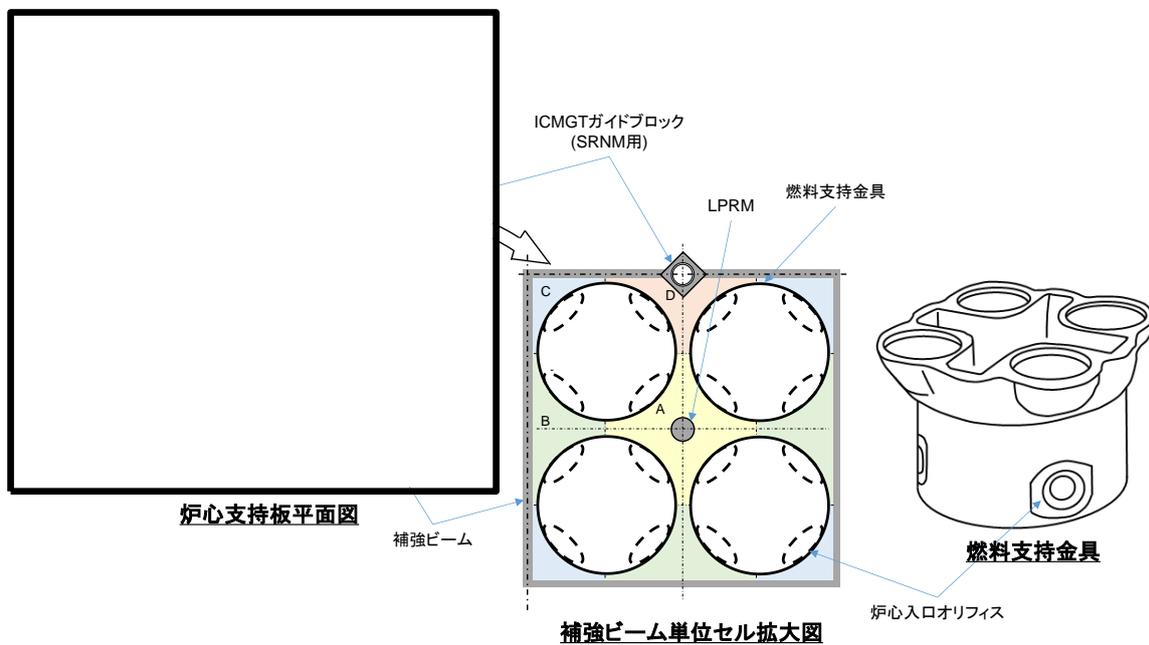


図4 炉心支持板におけるオリフィスとガイドブロックの位置関係 (ABWR の例)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。