

令和3年8月18日
中国電力株式会社

BWR クロスビームプラントのクロスビーム部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

2021年6月17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周辺で生じる“準安定状態” (meta-stable) による圧力損失に係わるレター (Part 21 Report (Log No. 2021-09-01)) が NRC に提出された。以下、レターの内容、および当社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。

当社では、島根2号炉（BWR-5）において構造強度向上を目的としてクロスビーム構造を採用し、また、島根3号炉（ABWR）もクロスビーム構造のプラントである。このうち、3.に示すとおり、ABWRである島根3号炉は本レターの対象外とされている。

3. レターの内容

レターの内容は以下のとおり。

- BWR-6 プラントのクロスビーム位置の燃料支持金具オリフィス周辺（図3のC領域）では、オリフィス入口の圧力損失が大きくなる“準安定状態”が発生する可能性がある。
- 準安定状態は、下部プレナムの流動パターンのランダムな挙動により発生し、それにより従来考えられていたよりも高い圧力損失になる可能性があるかもしれない。BWR-6 においては、圧力損失の従来値からの増加割合は包絡値として約1.9倍と評価されている。
- 準安定状態が発生する頻度ははっきりと分かっていない。
- ABWR は BWR-6 と同じクロスビームを採用しているプラントだが、入口オリ

フィス周辺の設計やオリフィス径が異なることから、入口オリフィスの流動パターンが異なるため、ABWR は本件の対象外。

- ・対象プラントは、管理上の MCPR にペナルティを設けることを推奨する。
(ペナルティの例として、MFLCPR=0.95 が示されている)
- ・本レターで推奨する MCPR のペナルティを過去の運転実績に適用した際、MCPR が OLMCPR を下回る期間があったとしても、当該期間に過渡事象が発生していない限り、燃料は SLMCPR を下回ったことにはならない。

4. 島根 2 号炉の安全解析への影響

今回報告された、クロスビーム位置で圧力損失が大きくなるような準安定状態は常時発生しているものではなく、発生頻度も発生した場合の圧力損失の増加割合も不明確である。これまでに、クロスビームプラントの燃料支持金具オリフィスの圧損係数に関するレターは 2002 年及び 2020 年にも出されているが、当時のレターで報告された事象への対応では、プロセス計算機の圧損係数を変更することが推奨されているのに対し、今回のレターにおいては事象そのものが不確実・不明確なものであることから、プロセス計算機の圧損係数を変更することは推奨事項となっておらず、運転管理において MCPR にペナルティを設定することが推奨されている。

このように不確実性の大きな事象であるものの、仮に準安定状態の発生を考慮した場合の安全解析への感度を以下のとおり確認した。

[準安定状態を考慮した感度解析]

島根 2 号炉の MCPR に係るリミティング事象である「負荷の喪失（発電機負荷遮断、タービンバイパス弁不作動）」について、ホットバンドルで準安定状態が発生したと仮定した場合の圧力損失増加を考慮した感度解析を実施した。評価結果は表 1 に示すとおりであり、準安定状態の考慮は安全性に影響を与えるものではない。

また、有効性評価の解析についても、事象進展の早い「原子炉停止機能喪失」で同様にホットバンドルでの準安定状態発生に伴う圧力損失の増加を考慮した場合の評価結果への影響を確認しており、その結果を表 2 に示す。申請解析と比較すると、圧力損失増加を考慮した場合は、ホットバンドル流量が小さいことから、わずかに燃料被覆管温度が高めに推移し、リウエットも遅くなったため、被覆管最高温度は高くなるものの、その差異は非常に小さく、また、判断基準である 1,200℃に対して十分余裕のある結果となることを確認した。

このように、本事象は非常に不確かなものであることから運転管理でのペナルティ設定が推奨されているものであり、また仮に安全解析上考慮したとしても安全性に影響を与えるものではない。

5. 島根 2 号炉の運転管理への影響

レターでは過去運転実績においてペナルティを課した MCPR が OLMCPR を下回っていた場合でも、当該期間に過渡事象が発生していない限り SLMCPR を超過したことにはならないとされているが、島根 2 号炉の過去運転サイクルの MCPR 最小値の実績について確認を行った結果は表 3 に示すとおりであり、レターにペナルティ例として記載されている 0.95 以下を確保していることから、過渡事象発生の有無を考慮するまでもなく、準安定状態の発生を仮定しても燃料健全性に影響を受けることはないことを確認した。

また、今後の運転に関して、次サイクルは MCPR にペナルティを課した運転管理を行うこととし、今後の検討状況を踏まえ、次々サイクル以降の運転管理方法を検討する予定である。

以上

表1 負荷の喪失（発電機負荷遮断，タービンバイパス弁不作動）
感度解析結果

項目		申請解析条件	圧損増加条件
Δ MCPR ^(※)	9×9 燃料 (A 型)	0.29	0.29
	MOX 燃料	0.30	0.29

(※)：「MOX 燃料が装荷されたサイクル以降」のうち，サイクル末期炉心の結果。

なお，「MOX 燃料が装荷されたサイクル以降」のサイクル早期炉心は，給水加熱喪失がリミテイング事象となるが，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する事象であり，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，感度解析事象の対象とはしていない。

表2 原子炉停止機能喪失感度解析結果

項目	申請解析条件	圧損増加条件	(参考) 判断基準
燃料被覆管最高温度 ^(※)	約 818℃	約 825℃	1,200℃以下

(※)：有効性評価においては MOX 燃料を装荷する前後でサイクル分けをしておらず，代表として 9×9 燃料 (A 型) で評価している。

表3 島根 2 号炉の MCPR 最小値の実績

サイクル	MCPR 最小値	OLMCPR	MFLCPR ^(※)
17 サイクル	1.36	1.25	0.919
16 サイクル	1.34		0.933
15 サイクル	1.34		0.933

(※)： $\frac{OLMCPR}{MCPR_{\text{最小値}}}$

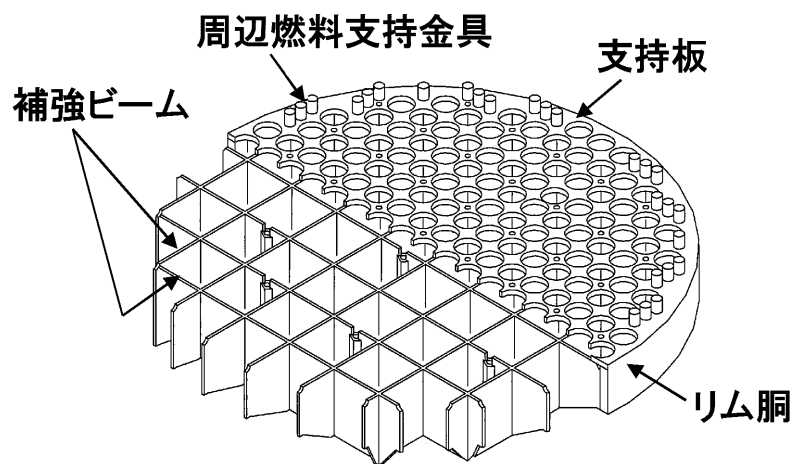
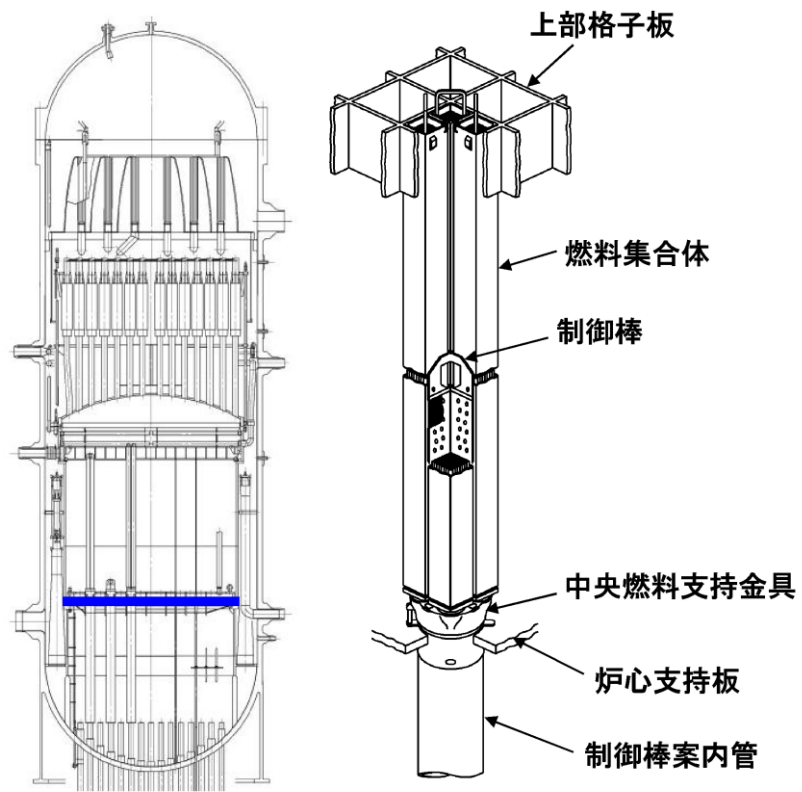
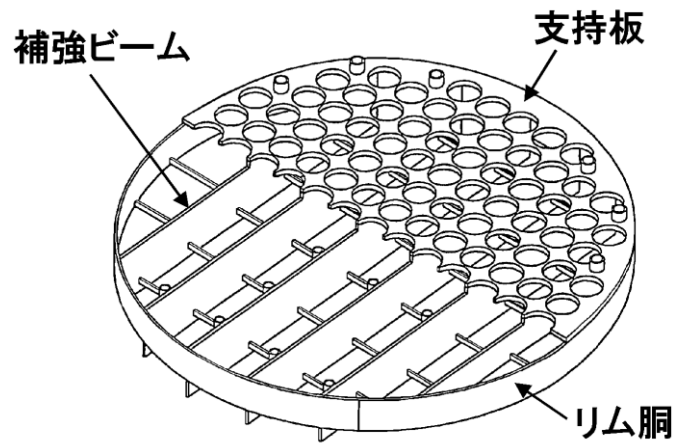
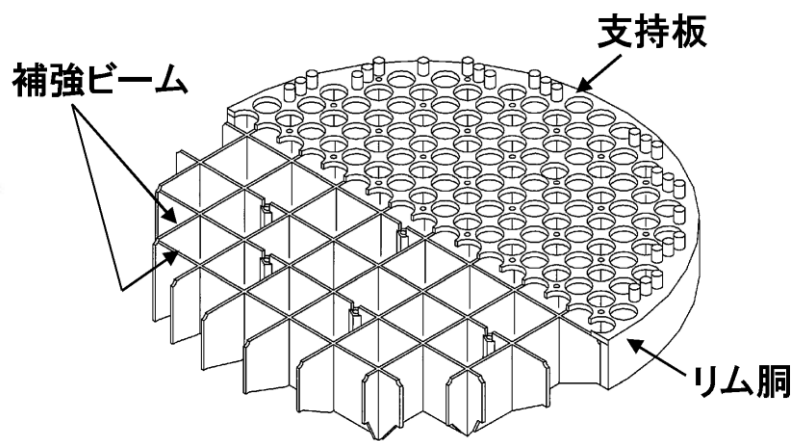


図1 炉心支持板概要図 (例)



[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 (例)

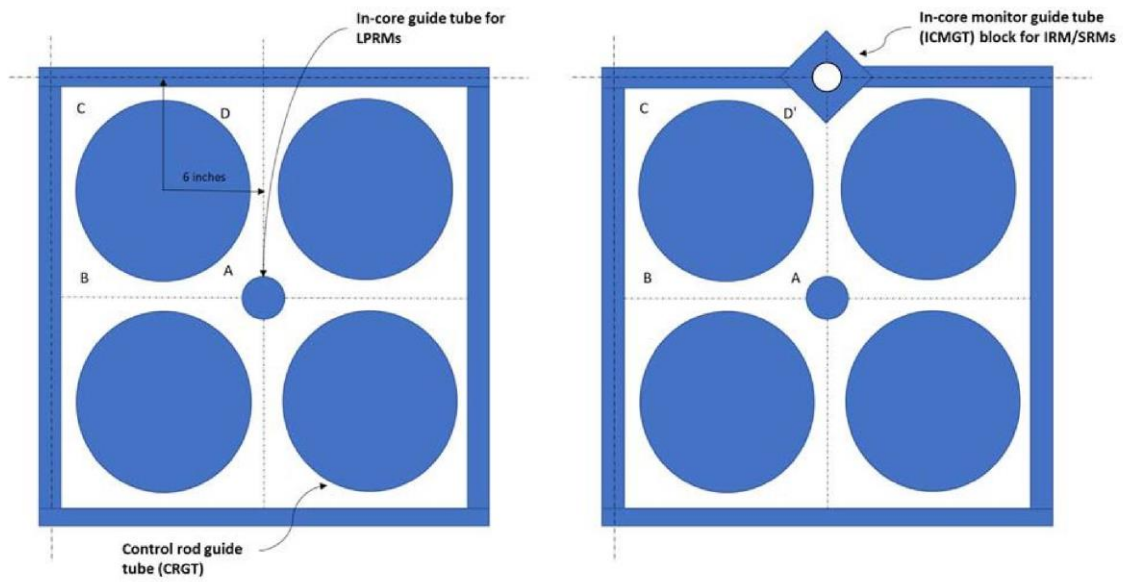


図3 クロスビームプラントにおける燃料支持金具周辺の概略図