

平成18年5月31日
経済産業省
原子力安全・保安院

沸騰水型原子力発電所のハフニウム板型制御棒の ひび等に関する調査報告書の公表等について

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）は、東京電力㈱福島第一原子力発電所6号機等で発生したハフニウム板型制御棒のひび等に関し、調査結果を報告書としてとりまとめるとともに、同型の制御棒を使用している事業者に対しては、同型制御棒の点検を継続すること等について指示しました。

<経緯>

（平成18年1月19日）

東京電力㈱から、福島第一原子力発電所6号機で使用していたハフニウム板型制御棒のタイロッド部とシース部にひび及び欠損（以下「ひび等」という。）を確認した旨の報告を受領。当院から同社に対して、電気事業法に基づき調査の実施及び結果報告を指示。

併せて、沸騰水型原子力発電所を設置する事業者（以下「BWR事業者」という。）に対して、同型制御棒の使用状況等についての報告、運転中の原子炉における同型制御棒の動作確認の実施、停止中の原子炉に係る同型制御棒におけるひび等の有無の確認、これら結果の報告を指示。

（2月3日）

BWR事業者からの報告内容を、専門家の意見も聴きつつ評価し、同型制御棒を使用しているBWR事業者に対し、中性子照射量が一定レベル以上の同型制御棒について全挿入位置での使用を指示。

（5月26日）

東京電力㈱及び中部電力㈱から、ハフニウム板型制御棒のひび等に関する原因と対策等に係る報告書を受領。当院は、提出された報告書の妥当性について精査。

（5月31日）

原子力安全・保安院として、本件に係る調査報告書を公表。

ハフニウム板型制御棒を使用している事業者（東京電力㈱、東北電力㈱、中部電力㈱、日本原子力発電㈱）に対し、同型制御棒の点検を継続すること等について指示。

【本発表資料のお問い合わせ先】

原子力安全・保安院

原子力防災課原子力事故故障対策室 市村、中島

電話：03-3501-1637

原子力発電検査課 山口、関

電話：03-3501-9547

沸騰水型原子力発電所のハフニウム板型制御棒の ひび等に関する調査報告書（概要）

本報告書は、ハフニウム板型制御棒に発生したひび等に関し、原子力安全・保安院（以下「当院」という。）として、事業者が実施した調査結果、これに対する調査過程の妥当性も含めた検証、さらに、専門家への意見聴取及び専門機関へ依頼した独自の分析結果を踏まえ、原因究明の結果を示すとともに、事業者による本件事象の解明に係る報告の妥当性を評価し、併せて、今後の取り組み方針について示したものを。

当院の評価

1. ひび及び欠損の発生原因の推定

- (1) ハフニウム板型制御棒は、その使用により、シースとハフニウム板間及びシースとタイロッド間において、冷却材に含まれる鉄分等不純物の濃縮やシースの腐食による腐食生成物が堆積してすき間環境となりやすく、そこでひびの発生となりうる粒界腐食が発生。また、シース表面のコマ溶接部及びスポット溶接部の残留応力が存在する部分において、中性子照射を受けることにより、照射誘起応力腐食割れ（IASCC）（注）により微小なひびが発生。
- (2) さらに使用を継続することにより、腐食生成物の堆積が進み、もともと可動を許す設計となっていたシースとハフニウム板の間の摺動抵抗（すべり難くする力）が増加。また、中性子照射によりハフニウム板の伸びが発生し、これら摺動抵抗の増加とハフニウム板の照射成長が相まって、シースに長手方向の引張力が生じ、(1)により発生していた微小なひび等が、この引張力を応力源とするIASCCによりシースを水平方向に横断するひびへと進展。
- (3) タイロッドについても、シースとのすき間部に(1)と同様に微小なひび等が発生し、(2)によりシースのひびが大きく進展することにより、シースとタイロッドのスポット溶接部を介してタイロッドに引張力が発生し、タイロッドが破断するようなひびへと進展。
- (4) シースのめくれ及び欠損については、上記要因によりシースにひびがある状態で、制御棒動作時に、周囲の機器との干渉により発生。

（注）照射誘起応力腐食割れ（IASCC）

軽水炉の炉内構造物に用いられているオーステナイト系ステンレス鋼が、特定の腐食環境下において引張応力が共存する状況で、高い積算中性子照射量を受けた場合に割れを発生する現象。

これまでの工学的知見により、シースに用いられているSUS316系ステンレス鋼においてIASCC感受性が高まるとされるしきい値は高速中性子量で $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ とされている。また、今回の調査により、ハフニウム板の成長は中性子照射量増加に伴って増加すること、酸化物等の堆積は照射を受けることにより促進されることが判明。これらか

ら、今回のひびは照射量が増加することにより生じることが明らかであるが、ひびが発生するしきい値を一義的に決めることは難しい。

しかしながら、今回の原因究明により得られたひび発生メカニズムに係る知見及び、これまでに442本のハフニウム板型制御棒の外観点検を実施した結果、ひびが認められた同型制御棒の熱中性子照射量が $4.4 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ 以上である事実を踏まえ、 $4.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ 以上の熱中性子照射を受けた同型制御棒については、ひび発生の可能性があるかと判断する。

2. 全挿入制御棒の耐震性について

福島第一原子力発電所6号機、同3号機及び浜岡原子力発電所3号機においてひびが確認された制御棒に対して行った評価が、実際に確認されたひびをより厳しく仮定した十分保守的なモデルとした上で、当該地域の最大の地震力を適用して確認する評価になっていることから、全挿入で用いる制御棒については、シース及びタイロッドにひびが発生していたとしても、シースとコマを介して接続しているハフニウム板が十分な強度を有し、地震時においても、反応度制御に影響を及ぼすような損壊を起こさないと判断。

今後の取り組み

(1) 短期的取り組み

今回の事象は中性子照射の影響により発生・進展するものであることが判明し、 $4.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ 以上の熱中性子照射を受けた同型制御棒については、ひび発生の可能性があるかと判断されること、同時に、このようなひびがあっても、全挿入位置で使用する場合にあっては、反応度制御に影響を及ぼすような損壊は起こさないと判断されることを踏まえ、以下の対応を行う。

以下に示す、当院が本年1月19日に発出した指示(平成18・01・19原院第1号)記2(1)の後段及び2(2)(いずれも、これまでに当該指示に係る対応を実施していない場合に限る)、並びに、本年2月3日に発出した指示(平成18・02・03原院第1号)記1を引き続き維持する。

現在運転中の原子炉にあっては、至近の定期事業者検査において当該制御棒のひび及び破損の有無について確認し、その結果を報告すること。

現在停止中の原子炉においては、ハフニウム板型制御棒についてひび及び破損の有無について確認し、その結果について報告すること。

熱中性子照射量が $4.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ を超えたハフニウム板型制御棒は、原子炉運転中は全挿入位置とすること。また、運転中に上記照射量を超えるものにあつては、上記照射量に達した時点で全挿入位置とすること。

同型制御棒について、毎定期事業者検査時に全数外観点検することを指示する。

なお、上記の指示については、今後引き続き得られる情報により、追加・変更を行うことがあり得る。

(2) 中長期的取り組み

今回の事象に関する原因究明作業及び規制上の取扱を議論していく中で、以下の通り、事業者、あるいは、当院において、今後検討していくことが必要と認められる課題が見いだされた。

ハフニウム板型制御棒の設計変更

事業者においては、今回の事象の再発を防止するため、製造メーカーとも協力し、ハフニウム板型制御棒の設計変更など、より安全性の高い制御棒の設計・製造・調達について検討すべき。

技術基準等に関する検討

当院においては、制御棒に適用される技術基準、特に構造健全性の観点からの基準について、より明確なものとするべく検討を進める。

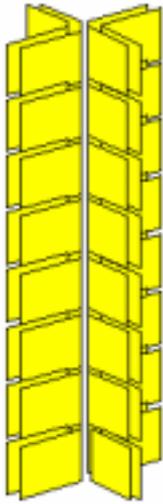
機器等の照射劣化に関する知見の継続的拡充

当院としては、大学等の研究機関、事業者等の連携協力により、劣化メカニズムの解明等の研究を推進するため、材料研究分野の拡充を目指す。

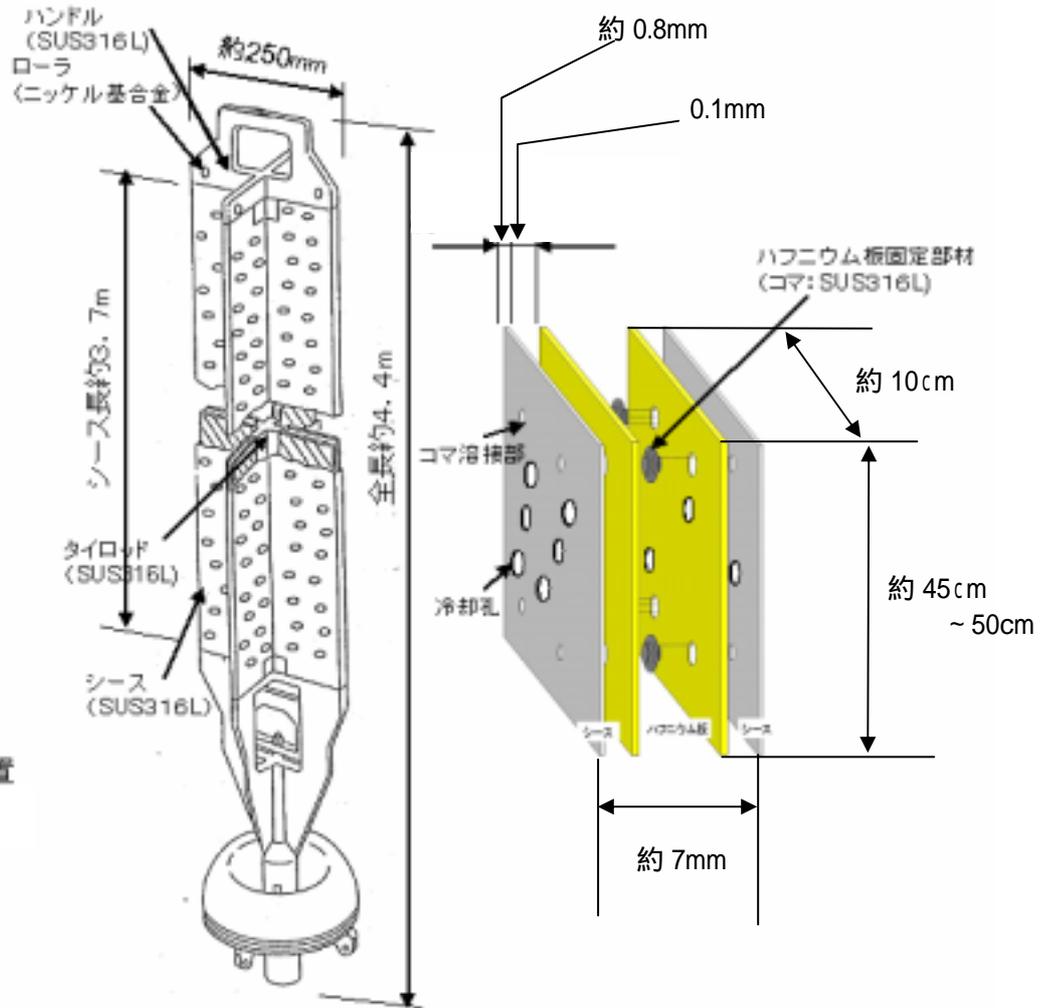
【添付資料】

- ・ハフニウム板型制御棒の構造
- ・現時点におけるハフニウム板型制御棒の点検状況

ハフニウム板厚
最大: 約 1.6mm



シース内の
ハフニウム板の配置



ハフニウム板型制御棒の構造

現時点におけるハフニウム板型制御棒の点検状況

H18.5.31現在

中性子照射量単位 : 10^{21}n/cm^2

会社名	サイト	号機	プラント運転状況	使用中のもの					使用済みのもの						
				装荷本数 *1	点検本数 *2	中性子照射量 *1		ひびのある制御棒本数 *2	保管本数	点検本数	中性子照射量		ひびのある制御棒本数		
						最大照射量	最小照射量				最大照射量	最小照射量			
日本原電	東海第二	1	運転中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/
						高速	/	/	高速			/	/		
	敦賀	1	運転中	4	-	熱	0.1	0.1	-	5	5	熱	0.8	0.8	*3 0
						高速	0.1	0.1	高速			1.3	1.3		
東北電力	東通	1	運転中	29	-	熱	0.7	0.1	-	0	/	熱	/	/	/
						高速	0.7	0.1	高速			/	/		
	女川	1	定期検査停止中 (06.1.18~)	9	9	熱	4.5	2.1	0	5	5	熱	6.7	6.0	0
						高速	5.4	2.5	高速			8.1	7.3		
		2	停止中 (06.5.11停止)	13	13	熱	4.2	2.1	0	9	9	熱	8.1	6.9	0
						高速	4.4	2.2	高速			8.4	7.2		
3	運転中	*4 17	17	熱	4.4	1.0	0	0	/	熱	/	/	/		
				高速	4.6	1.0	高速			/	/				
東京電力	福島第一	1	運転中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/
						高速	/	/	高速			/	/		
		2	運転中	*5 22	22	熱	3.8	1.2	0	0	/	熱	/	/	/
						高速	4.6	1.4	高速			/	/		
		3	停止中 (06.2.22停止)	*5 18	18	熱	5.2	0.9	5	0	/	熱	/	/	/
						高速	6.3	1.1	高速			/	/		
	4	運転中	*6 4	4	熱	1.2	1.2	0	0	/	熱	/	/	/	
					高速	1.4	1.4	高速			/	/			
	5	運転中	18	-	熱	3.3	0.2	-	13	13	熱	5.7	4.9	8	
					高速	4.0	0.2	高速			6.9	5.9			
	6	定期検査停止中 (05.12.21~)	*7 17	17	熱	5.0	1.7	9	0	/	熱	/	/	/	
					高速	6.1	2.1	高速			/	/			
	福島第二	1	定期検査停止中 (06.4.20~)	17	9	熱	4.5	0.8	0	8	8	熱	5.2	5.0	0
						高速	5.4	0.9	高速			6.3	6.1		
2		運転中	*8 13	13	熱	4.1	0.0	0	9	9	熱	5.2	4.5	0	
					高速	4.8	0.0	高速			6.0	5.2			
3		運転中	19	-	熱	4.3	0.2	-	3	3	熱	4.1	0.9	*3 0	
					高速	4.5	0.2	高速			4.3	0.9			
4		運転中	*5 17	17	熱	4.0	0.5	*3 0	5	5	熱	4.9	4.7	0	
					高速	4.7	0.6	高速			5.8	5.5			

中性子照射量単位 : 10^{21}n/cm^2

会社名	サイト	号機	プラント運転状況	使用中のもの					使用済みのもの						
				装荷本数 *1	点検本数 *2	中性子照射量 *1		ひびのある制御棒本数 *2	保管本数	点検本数	中性子照射量		ひびのある制御棒本数		
						最大照射量	最小照射量				最大照射量	最小照射量			
東京電力	柏崎刈羽	1	運転中	*9 13	13	熱	4.4	0.0	0	27	27	熱	5.6	2.5	0
						高速	4.5	0.0				高速	5.9	2.6	
		2	運転中	21	-	熱	3.4	0.8	-	27	27	熱	5.6	4.2	9
						高速	3.5	0.8				高速	5.8	4.4	
		3	定期検査停止中 (06.05.12~)	21	-	熱	3.8	1.0	-	22	22	熱	5.3	4.5	0
						高速	4.0	1.0				高速	5.5	4.7	
		4	定期検査停止中 (06.04.09~)	0	/	熱	/	/	/	0	/	/	熱	/	/
				高速	/	/	/				高速	/	/	/	
	5	運転中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/	
				高速	/	/	/				高速	/	/	/	
	6	運転中	*10 25	25	熱	2.6	0.0	0	34	34	熱	5.9	4.4	15	
					高速	2.6	0.0				高速	5.9	4.4		
	7	運転中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/	
					高速	/	/	/			高速	/	/	/	
中部電力	浜岡	1	定期検査停止中 (02.4.26~)	5	-	熱	0.9	0.8	-	5	5	熱	7.1	6.2	0
						高速	1.1	1.0				高速	8.5	7.5	
		2	定期検査停止中 (04.2.21~)	9	-	熱	4.5	1.0	-	9	9	熱	6.3	5.9	0
						高速	5.5	1.3				高速	7.7	7.2	
		3	運転中	13	-	熱	6.8	0.1	-	17	17	熱	8.5	7.1	13
				高速	7.0	0.1				高速	8.9	7.4			
	4	定期検査停止中 (06.3.23~)	25	25	熱	6.8	1.6	0	9	9	熱	7.1	6.2	0	
				高速	7.1	1.6				高速	7.3	6.4			
	5	運転中	33	33	熱	2.1	0.1	0	0	/	熱	/	/	/	
					高速	2.1	0.1				高速	/	/	/	
北陸電力	志賀	1	定期検査停止中 (06.3.5~)	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/
						高速	/	/	/			高速	/	/	/
	2	停止中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/	
					高速	/	/	/			高速	/	/	/	
中国電力	島根	1	運転中	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/
						高速	/	/	/			高速	/	/	/
	2	定期検査停止中 (06.2.28~)	0	/	熱	/	/	/	0	/	熱	/	/	/	
					高速	/	/	/			高速	/	/	/	
合計				382	235		-	-	14	207	207		-	-	45

*1 : 制御棒装荷本数、中性子照射量は平成18年1月23日時点のデータ

*2 : " - "は点検未実施

*3 : 平成15年に確認されたコマ部周辺等のひび割れ(敦賀1号機、福島第二3,4号機)については除外している。

*4 : 中性子照射量 $4 \times 10^{21}\text{n/cm}^2$ 以上の9本については B_4C 制御棒に交換済み。*5 : B_4C 制御棒に交換済み。

*6 : ハフニウム棒型制御棒に交換済み。

*7 : 8本は新品のハフニウム板型制御棒に、9本は B_4C 制御棒に交換済み。*8 : 9本はもともと新品のハフニウム板型制御棒。4本は B_4C 制御棒に交換済み。*9 : 4本はもともと新品のハフニウム板型制御棒。5本は新品のハフニウム板型制御棒に、4本は B_4C 制御棒に交換済み。*10 : 5本はもともと新品のハフニウム板型制御棒。20本は B_4C 制御棒に交換済み。

平成 18・05・31 原院第 1 号
平成 18 年 5 月 31 日

沸騰水型原子力発電所におけるハフニウム板型制御棒の使用について

原子力安全・保安院
NISA-163b-06-04

東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）福島第一原子力発電所第 6 号機等において、ハフニウム板型制御棒にひび及び欠損が認められた。

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）は、電気事業法第 106 条第 1 項（報告徴収）の規定に基づき、東京電力に対し、平成 18 年 1 月 19 日付けをもって原因究明等の調査を行うよう指示を行うとともに、同型の制御棒を使用している沸騰水型軽水炉を所有する事業者（以下「BWR 事業者」という。）に対して、平成 18 年 1 月 19 日付け平成 18・01・19 原院第 1 号及び平成 18 年 2 月 3 日付け平成 18・02・03 原院第 1 号をもって点検等を実施するよう対応を求めてきた。

本事象については、BWR 事業者から随時、点検結果の報告等がされるとともに、ハフニウム板型制御棒にひび及び欠損が認められた東京電力及び中部電力株式会社からは、平成 18 年 5 月 26 日にひび等の原因及び対策等に係る報告書の提出を受けたところである。

当院においては、事業者が実施した調査結果報告、専門家への意見聴取及び専門機関へ依頼した独自の分析結果を踏まえ、「沸騰水型原子力発電所のハフニウム板型制御棒のひび等に関する調査報告書」として取りまとめ、事業者あるいは当院が今後取り組むべき方針を示した。

これに基づき、当院は、別途指示を行うまでの間、同型制御棒に係る安全確保の観点から、ハフニウム板型制御棒の使用にあたっては、下記の対応を求めることとする。

記

1．既に対応を求めた件の継続

(1)平成 18 年 1 月 19 日付け平成 18・01・19 原院第 1 号（NISA-161a-06-01）の記中「至近の定期事業者検査において当該制御棒のひび及び破損の有無について確認し、その結果を報告すること。」及び「現在停止中の原子炉においては、ハフニウム板型制御棒についてひび及び破損の有無について確認し、その結果について報告すること。」については継続する。

(2)平成 18 年 2 月 3 日付け平成 18・02・03 原院第 1 号（NISA-163b-06-01）の記中「熱中性子照射量が $4.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ を超えたハフニウム板型制御棒は、原子炉運転中は全挿入位置とすること。また、運転中に上記照射量を超えるものにあつては、同照射量に達した時点で全挿入位置とすること。」については継続する。

2．定期事業者検査毎の外観確認の実施

ハフニウム板型制御棒を使用している間は、定期事業者検査毎に、当該制御棒を全数外観検査すること。