

1. 事象の概要

当社で使用していたハフニウムフラットチューブ型制御棒全数について外観点検を実施した結果、柏崎刈羽原子力発電所7号機の使用済燃料プールで保管している使用済制御棒28本に、「タイロッド部」と「シースとタイロッドの溶接部」にひびを確認した。

<各原子力発電所で保管している同型の使用済制御棒の外観点検結果>

プラント名	保管本数	点検本数	「タイロッド部」と「シースとタイロッドの溶接部」にひびを確認した制御棒の本数
福島第一1号機	9	9	0
福島第一4号機	8	8	0
福島第二2号機	4	4	0
柏崎刈羽4号機	4	4	0
柏崎刈羽5号機	4	4	0
柏崎刈羽7号機	71 ^{注1)}	71 ^{注1)注2)}	28 ^{注2)}

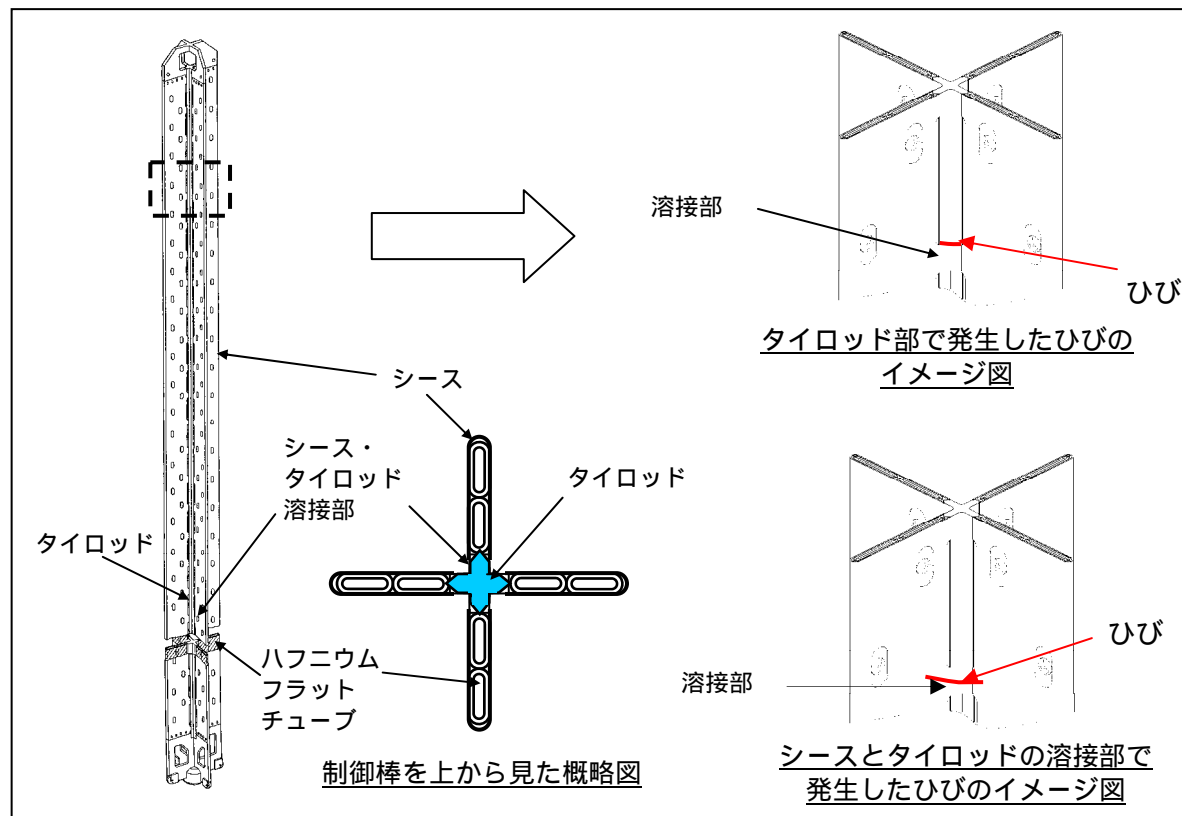
注1) 平成23年8月から実施中の定期検査において取り出した同型制御棒25本を含む。

注2) 電力共通研究のために当初点検した制御棒2本を含む。

2. 使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびの発生原因に関する調査結果

(1) ひびの外観点検結果

・外観点検により「タイロッド部のひび」と「シースとタイロッドの溶接部のひび」の2種類のひびが確認されたが（下図参照）、そのひびの幅はいずれも0.3mm以下と微細なもので、制御棒の挿入性に影響を及ぼすような変形や段差等は確認されなかった。



(2) ひびを確認した同型制御棒の製造履歴に関する調査結果

- ・制御棒の製造時の材料記録、外観寸法記録、製造工程、溶接施工記録の異常は確認されなかった。
- ・ひびは1996年製の同型制御棒10本と2002年製の同型制御棒18本に確認されたが、いずれも「タイロッド部のひび」と「シースとタイロッドの溶接部のひび」があり、制御棒の製造時期によるひびの差異はなかった。
- ・ひびを確認した同型制御棒には、溶接前にあらかじめタイロッド側の溶接部（段差）に機械加工による寸法調整を行っていた。

(3) ひびを確認した同型制御棒の使用環境、中性子照射量について

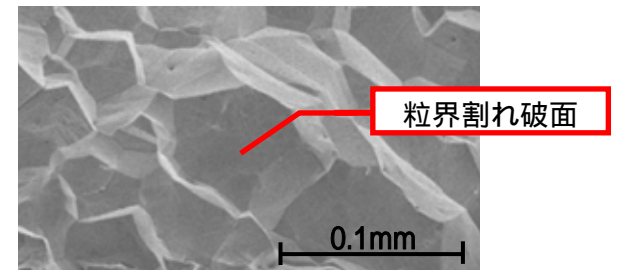
- ・同型制御棒を使用していた期間に、原子炉圧力や原子炉水温度、原子炉水質等の使用環境に異常はなかった。
- ・同型制御棒のうち制御棒全体の熱中性子の照射量（制御棒を高さ方向に4分割してそれぞれの部分で算出した平均値）の最大値が $4.1 \times 10^{25} \text{n/m}^2$ 以上のものだけにひびが発生しており、ひびが発生した箇所の局所的な熱中性子の照射量を評価したところ、熱中性子照射量で $2.1 \times 10^{25} \text{n/m}^2$ （高速中性子照射量で $2.4 \times 10^{25} \text{n/m}^2$ ）以上であり、一般的に照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）が発生する確率が高まるとされている高速中性子照射量（ $1.0 \times 10^{25} \text{n/m}^2$ ）を上回っていた。

(4) 模擬試験体を用いた調査結果

- ・同型制御棒の製造時の状態を模擬した試験体にて評価した結果、溶接箇所周辺にひびを進展させる可能性のある引張残留応力があることが分かった。

(5) 照射後試験施設における調査結果

- ・製造時期やひびの部位が異なる4本の同型制御棒についてひびのサンプルを採取し、その破面を詳細に観察した結果、中性子の照射に伴う硬化等の材料の劣化や、応力腐食割れの特徴である粒界割れやひびの枝分かれが確認された。（右図参照）



（ひびの破面の顕微鏡観察）

(6) 新潟県中越沖地震の影響に関する調査結果

- ・平成19年7月の地震発生当時、原子炉内で使用または使用済燃料プールで保管していた同型制御棒には、ひび周辺に地震荷重等の外力が作用したことに伴う変形はなく、地震により発生する応力を評価した結果、破壊に至るような応力は作用していないことを確認したことから、地震によりひびが発生・進展したものではないと評価した。

3. ひびの発生原因とメカニズム

別紙2「ひびの発生メカニズム」参照

4. 再発防止対策

ひびの発生原因に対応して、今後、以下の対策を検討する。なお、これらの対策を行っていないハフニウムフラットチューブ型制御棒については今後継続使用しないこととする。

- (1) シースとタイロッドの溶接部に隙間を発生させないような溶接方法の改善の検討
- (2) 残留応力を低減するような溶接方法等の改善の検討
- (3) 表面硬化層の発生を抑制するようなタイロッドの機械加工方法の改善の検討

以上