

島原本広第111号
平成25年5月20日

島根県知事 溝口善兵衛様

中国電力株式会社
常務取締役 島根原子力本部
本部長 古林行雄

島根原子力発電所におけるチャンネルボックス上部（クリップ）
の一部欠損に係る調査結果について

平成24年8月10日付「燃料集合体チャンネルボックス上部（クリップ）
の一部欠損について（指示）」（20120810 原院第2号）に基づき、本日、添付
のとおり原子力規制委員会へ報告しましたので、島根原子力発電所周辺地域住
民の安全確保等に関する協定第8条第1項（9）に基づきご連絡いたします。

添付

島根原子力発電所におけるチャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損に
係る調査結果について

以上



電安燃管第6号
平成25年5月20日

原子力規制委員会 殿

広島市中区小町4番33号
中国電力株式会社
取締役社長 荻田 知哉

島根原子力発電所におけるチャンネルボックス上部（クリップ）
の一部欠損に係る調査結果について

平成24年8月10日付「燃料集合体チャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損について（指示）」（20120810 原院第2号）に基づき、島根原子力発電所におけるチャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損に関する調査結果をとりまとめましたので、別紙のとおり報告いたします。

別紙 中国電力株式会社 島根原子力発電所におけるチャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損に係る調査結果について

以上

中国電力株式会社 島根原子力発電所における
チャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損に係る
調査結果について

平成25年5月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 指示事項	1
3. 指示事項に対する当社の対応状況	2
3. 1 チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損に関わる点検状況 （指示事項1. 対応）	2
3. 1. 1 点検方法	2
3. 1. 2 点検結果	2
3. 2 チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損が確認された燃料 体の点検状況（指示事項2. 対応）	3
3. 2. 1 点検方法	3
3. 2. 2 燃料体の外観点検結果	3
3. 3 チャンネルボックス上部に欠損の確認された燃料集合体の健全 性評価及び原子炉施設への影響評価（指示事項3. 対応）	3
3. 3. 1 C/B上部（クリップ）の一部欠損によるC/B機能へ の影響	3
3. 3. 2 C/B上部（クリップ）の一部欠損によるC/Bクリップ 機能への影響	4
3. 4 チャンネルボックス上部の欠損に係る原因の究明及び再発防止 策の策定（指示事項4. 対応）	4
3. 4. 1 原因調査	4
3. 4. 2 欠損の確認されたC/Bの製造者と製造時期	5
3. 4. 3 神戸製鋼製のC/Bに関する追加調査	6
3. 4. 4 神戸製鋼製以外のC/Bに関する調査	9
3. 4. 5 推定原因	10
3. 4. 6 再発防止対策	11
3. 5 チャンネルボックス上部の欠損に伴い生じると考えられる金属 片による原子炉施設への影響の評価及び対策（指示事項5. 対応）	11
3. 6 上部に欠損の確認されたチャンネルボックスの継続使用の 可否について	12

1. はじめに

東北電力株式会社女川原子力発電所3号機において、平成24年7月10日に燃料体のチャンネルボックス（以下「C/B」という。）上部のクリップ接合部に欠損が確認されたことが報告された。東北電力株式会社では、この事案を受けて発出された経済産業省原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）指示文書「東北電力株式会社女川原子力発電所第3号機における燃料集合体チャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損について（指示）」（20120710 原院第2号）に基づき女川原子力発電所3号機の調査状況等について平成24年8月10日に保安院へ報告を行った。

また、7月10日の東北電力株式会社の事案を受けた東京電力株式会社における過去事例の調査の結果、平成9年に柏崎刈羽原子力発電所3号機、5号機にて、平成20年に柏崎刈羽原子力発電所3号機にてクリップ接合部の一部に剥離現象が確認されていたことを確認し、当時の状況を取りまとめて平成24年8月10日に保安院へ報告を行った。

上記報告を受けて保安院から平成24年8月10日に当社に対して発出された指示文書「燃料集合体チャンネルボックス上部（クリップ）の一部欠損について（指示）」（20120810 原院第2号）に基づき、平成24年9月10日に当社島根原子力発電所におけるC/B上部の確認状況等について保安院に中間報告を行ったが、このたび保安院指示事項に関する調査が全て終了したことから、その結果について報告する。

2. 指示事項

- 指示事項1. 炉内及び使用済燃料プールにある燃料集合体について、チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損の確認
- 指示事項2. 1. において確認された場合、チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損を含む燃料集合体の損傷、変形等の確認
- 指示事項3. 1. 又は2. において確認された場合、燃料集合体の健全性の評価及び原子炉施設への影響の評価
- 指示事項4. 1. 又は2. において確認された事象に係る原因の究明及び再発防止策の策定
- 指示事項5. 1. 又は2. において確認された場合、チャンネルボックス上部（クリップ）の損傷に伴い生じると考えられる金属片による原子炉施設への影響の評価及び対策

3. 指示事項に対する当社の対応状況

3. 1 チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損に関わる点検状況 （指示事項1. 対応）（平成24年9月10日報告済み）

3. 1. 1 点検方法

島根原子力発電所1号機（以下「島根1号機」という。）および島根原子力発電所2号機（以下「島根2号機」という。）においては、燃料体^{※1}が炉内へ装荷された状態または燃料プール内の燃料貯蔵ラックに収納された状態で水中カメラによりC/B上部の外観点検を実施した。^{※2}

その後、C/B上部の外観点検により当該部欠損の可能性があるとして判断された燃料体について、燃料プール内のチャンネル着脱機へ移動し、カメラ装置によりC/B上部の詳細確認を実施し、欠損の有無を確認した。

島根原子力発電所3号機（以下「島根3号機」という。）においては、燃料プールに貯蔵されている燃料体を燃料貯蔵ラックに収納された状態で目視によりC/B上部の詳細確認を実施し、欠損の有無を確認した。^{※3}

※1 本報告書では、燃料集合体にC/Bを取り付けた状態を「燃料体」と記す。

※2 島根1号機については、炉内の全燃料体が燃料プールに取り出されていることから炉内は対象外とした。

※3 島根3号機については、全初装荷燃料体が乾式の状態で燃料プールに貯蔵されていることから炉内は対象外とした。

（添付資料－1，2参照）

3. 1. 2 点検結果

（1）島根1号機

燃料プールに貯蔵されている全燃料体798体について、燃料貯蔵ラックに収納された状態で水中カメラによりC/B上部の外観点検を実施した。

外観点検により当該部欠損の可能性があるとして判断された燃料体について、チャンネル着脱機へ移動し、カメラ装置によりC/B上部の詳細確認を実施した結果、合計10体の燃料体のC/B上部クリップ接合部に最大約18mmの欠損が確認された。

（添付資料－3－1参照）

（2）島根2号機

炉内へ装荷されている全燃料体560体および燃料プールに貯蔵されている全燃料体2088体について、炉内へ装荷された状態または燃料貯蔵ラックに収納された状態で水中カメラによりC/B上部の外観点検を実施した。

外観点検により当該部欠損の可能性があるとして判断された燃料体について、チャンネル着脱機へ移動し、カメラ装置によりC/B上部の詳細確認を実施した結果、合計3体の燃料体のC/B上部クリップ接合部に最大約20mmの欠損が確認された。

（添付資料－3－2参照）

(3) 島根3号機

燃料プールに貯蔵されている全燃料体872体について、燃料貯蔵ラックに収納された状態で目視によりC/B上部の詳細確認を実施した。

詳細確認を実施した結果、当該部の欠損が確認された燃料体は無かった。

3.2 チャンネルボックス上部（クリップ）の欠損が確認された燃料体の点検状況
（指示事項2. 対応）

3.2.1 点検方法

C/B上部（クリップ）の一部欠損が確認された燃料体をチャンネル着脱機に移動し、C/Bを水中カメラにより点検したのち、C/Bを取外して、水中カメラによる燃料集合体の外観点検を実施し、ウォータ・ロッドの曲がりを含む燃料集合体の損傷、変形等の有無を確認した。

3.2.2 燃料体の外観点検結果

(1) 島根1号機

C/B上部（クリップ）の一部欠損が確認された燃料体10体についてC/Bの外観点検を実施し、当該部以外に損傷、変形等の異常がないことを確認するとともに燃料集合体の外観点検を実施し、損傷、変形等の異常がないことを確認した。

（添付資料－4 参照）

(2) 島根2号機

C/B上部（クリップ）の一部欠損が確認された燃料体3体についてC/Bの外観点検を実施し、当該部以外に損傷、変形等の異常がないことを確認するとともに燃料集合体の外観点検を実施し、損傷、変形等の異常がないことを確認した。

（添付資料－5 参照）

3.3 チャンネルボックス上部に欠損の確認された燃料集合体の健全性評価及び原子炉施設への影響評価（指示事項3. 対応）

C/B上部（クリップ）に一部欠損を確認した燃料集合体全数に損傷、変形等の異常は確認されておらず、C/B上部（クリップ）の一部欠損は燃料集合体へ損傷、変形を与えるようなものではないと考える。

以上を考慮して、C/B上部（クリップ）の一部欠損による影響評価を実施した結果、以下のとおり、燃料体の健全性および原子炉施設に影響を与えるものではないことを確認した。

3.3.1 C/B上部（クリップ）の一部欠損によるC/B機能への影響

確認された欠損は、燃料集合体にC/Bを着脱するための治具を取り付けるク

リップ接合部のみであり、C/Bの当該部以外に損傷、変形等の異常は確認されなかったことから、C/Bに要求される機能（燃料体内の冷却材流路確保、制御棒ガイド機能等）への影響はない。

3. 3. 2 C/B上部（クリップ）の一部欠損によるC/Bクリップ機能への影響

確認された欠損は、島根1号機で最大約18mm、島根2号機で最大約20mmであったのに対し、C/Bに取り付けられたクリップが2箇所とも接合部の溶接長さの半分（島根1号機：40mm、島根2号機：39mm）にわたって欠損しているという保守的な条件でクリップ強度を評価した。

評価の結果、クリップの許容最大荷重は、島根1号機で約14.8kN、島根2号機で約16.6kNであり、燃料集合体とC/Bの合計重量（島根1号機：約2.8kN、島根2号機：約3.0kN）に対して十分余裕があることからC/B着脱時の取扱いへの影響はない。なお、C/B着脱時以外にクリップ部に荷重が加わることはない。

（添付資料－6参照）

3. 4 チャンネルボックス上部の欠損に係る原因の究明及び再発防止策の策定 （指示事項4. 対応）

3. 4. 1 原因調査

C/B上部（クリップ）の一部欠損が発生する可能性がある要因として、設計欠陥、製造欠陥、腐食による損傷、接触による損傷を抽出し、原因調査を実施した。

（添付資料－7参照）

（1）設計欠陥

C/Bの設計状況について確認した結果、C/Bクリップ部は燃料集合体上部タイプレートにおいてチャンネルファスナにより燃料集合体と結合されているが、燃料集合体とC/Bの中性子照射による軸方向の伸び差は考慮された全長設計となっており、燃料集合体との干渉によりクリップ部に異常な応力が発生しないことを確認した。

（2）製造欠陥

材料不良または溶接不良に伴う製造欠陥の可能性について、当該部に欠損を確認したC/Bを対象として製造記録や溶接記録を確認した結果、問題は確認されなかった。

（3）腐食による損傷

水質変化による腐食に伴い当該部に欠損が生じた可能性について、原子炉冷却材および燃料プールの過去の水質記録を確認した。

その結果、調査期間において全て基準値内であることを確認した。

(4) 接触による損傷

C/Bが燃料体, 炉内構造物等と接触することで当該部に欠損が生じた可能性について, 機器との位置関係および燃料移動に係る作業記録により確認した結果, 問題は確認されなかった。また, C/Bハンドリング時に当該部に欠損が生じた可能性について, 新燃料へのC/B装着時の作業記録を確認した結果, 問題となる所見はなかった。

3. 4. 2 欠損の確認されたC/Bの製造者と製造時期

当該部に欠損または欠損の可能性があると判断されたC/Bは, 他社BWRプラントでも確認されている。これらの製造者とその製造時期を整理したものを図1に示す。

当初, 東北電力株式会社女川原子力発電所3号機で当該事象が確認されたC/Bの製造者は, 株式会社神戸製鋼所(以下「神戸製鋼」という。)であったが, 他の製造者についても発生していることがわかる。また, 神戸製鋼以外の製造者については, 過去の特定の年代に製造されたものに集中しているのに対して, 神戸製鋼においては継続的に発生している傾向が見られる。特にクリップ部の溶接方法を手動から自動に変更して納入が行われた平成10年(1998年)以降, 発生が顕著である。

このことから, 現在も継続的に発生していると考えられる神戸製鋼製のC/Bは, 自動化された溶接プロセスに原因があると考えられる。また, 欠損は全てのC/Bに発生しているわけではなく発生確率が数%と低いこと, さらに, 欠損が特定の面で発生する傾向がある。これは, BWR電力共通の事案であるため, 調査はBWR電力共同で実施した。

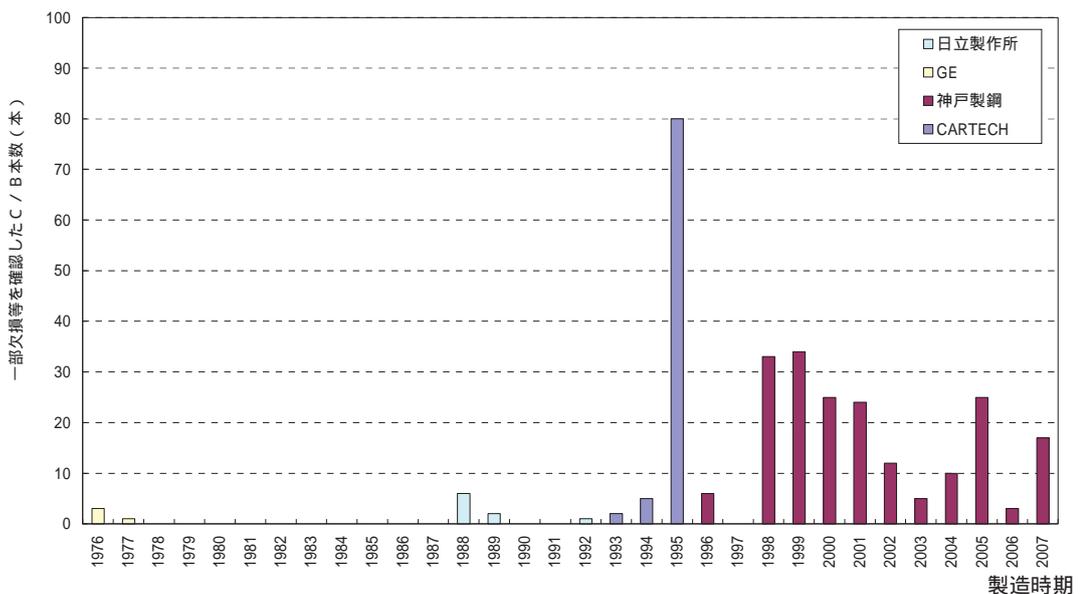


図1 製造メーカー別事象確認の年代別の傾向(他社BWRプラントで確認されたものを含む)

* 平成24年9月10日に各BWR電力事業者が作成した報告書による

3. 4. 3 神戸製鋼製のC/Bに関する追加調査

(添付資料－8参照)

(1) 溶接不良の可能性調査

a. クリップ溶接方法

クリップ部の溶接は、アルゴンガスを流すことでアルゴンガス雰囲気としたチャンバ内にクリップ部を本体部に仮溶接したものをに入れて実施する。溶接する際には、確実に裏波を出し、欠陥なく溶接するための当て金としてクリップにタンタル板をつける。溶接時は、C/B各面ともクリップ端部からコーナー部へ溶接トーチが移動し溶接する。なお、最初の1辺を溶接するときにはタンタル板を予熱するため、溶接開始時に十数秒間程度アークを出した状態で溶接トーチを保持する。

b. 調査項目

当該部の欠損について、溶接不良という観点からこれまでの知見により以下の要因が考えられる。

- ・ジルコニウム合金に空気に含まれる酸素、窒素が混入した場合、耐食性が低下する。また、溶接時の雰囲気中の湿度が増加した場合も、ジルコニウム合金の耐食性が低下する。
- ・ジルコニウム合金に添加されている鉄およびクロムの濃度が低下すると耐食性が低下する。溶接時に大きな入熱があった場合には、ジルコニウム合金中の針状組織の粒径が大きくなり粒界に鉄およびクロムが偏析し耐食性が低下する可能性がある。なお、耐食性に対する影響についてはクロムよりも鉄のほうが顕著である。
- ・ジルコニウム合金に添加されているスズの濃度が低下すると耐食性が低下する。スズは低融点金属であり、溶接時の大きな入熱により揮発する可能性がある。
- ・一般的に溶接部では、溶接後の熱収縮による熱ひずみで硬化することにより脆化する可能性がある。
- ・ジルコニウム合金においては、物質内の水素の拡散挙動に残留ひずみが影響を及ぼす可能性がある。また、ジルコニウム合金は水素を含むと脆化する特性がある。

以上のことから、製造欠陥(溶接不良)の要因としては「酸素、窒素の混入」、「湿度による影響」、「溶接時の大きな入熱」および「溶接時の残留ひずみ」が考えられる。そこで、神戸製鋼において通常のC/Bを製作する場合と同じ手順で未照射のC/B試験片を製作し、上記要因を絞り込むために調査を実施した。なお、調査項目によっては通常のC/Bを製作する場合の溶接条件から変更して製作した試験片も用いて実施した。

調査項目は、以下のとおりである。

(a) 外観観察

溶接後の試験片の外観を確認し、製造時点での傷や変色の状況を確認する。

(b) 組織観察

当該部欠損が確認されたクリップ端部とそれ以外の部位では溶接入熱が異なることから、結晶組織の相違の有無を確認するため、溶接部の断面組織観察および側面組織観察を行う。

(c) 硬さ測定

溶接部では、溶接後の熱収縮による熱ひずみで硬化することにより、脆化する可能性がある。断面、側面の表面および欠損発生部の硬さ分布を測定し、欠損が確認された部位とそれ以外の部位の硬さを比較することで脆化の可能性を検討する。測定にはビッカース硬さ試験機を用いる。

(d) 残留ひずみ

物質内の水素の拡散挙動に残留ひずみが影響を及ぼす可能性があることが知られている。クリップ端部近傍の残留ひずみ分布と欠損部との相関性を調べることを目的として溶接部、熱影響部および熱影響部近傍の母材部の残留ひずみを測定する。測定にはひずみゲージを用いる。

(e) 元素分析

ジルコニウム合金は、溶接時に酸素、窒素の取り込みが起ることにより耐食性が低下することが知られている。また、ジルコニウム合金に含まれるスズの濃度が低下することによっても耐食性が低下することが知られている。これらの元素の含有量を確認することを目的として元素分析(成分分析)を行う。また、自動溶接から採用しているクリップ溶接時の当て金としてタンタル板を使用していることから、タンタルの有無についても分析する。

さらに、クリップ端部近傍の表面元素を分析することを目的として、電界放出型電子線マイクロアナライザ^{※4}(以下「FE-E PMA」という。)分析を行う。比較として本体溶接部のFE-E PMA分析も行う。

※4:対象物に電子線を照射することで発生する特性エックス線を分析することで対象物の元素の種類や量を測定する装置

(f) 腐食試験

C/Bの当該部欠損の再現性を確認することを目的として、高温水蒸気環境での腐食試験を行う。また、溶接パラメータが腐食に及ぼす影響を定性的に評価するため、溶接条件を変更して自動溶接にて製作した試験片についても試験を行う。

c. 調査結果

(a) 外観観察

溶接後の試験片の外観を観察した結果、傷や変色は確認されなかった。

(b) 組織観察

クリップの溶着部から熱影響部にかけて、針状の組織が観察され、その周囲では粒界に沿って析出物が生成していることがわかった。針状組織の幅は溶着部から熱影響部にかけて広がる傾向が見られた。

(c) 硬さ測定

硬さ測定においては、ばらつきは見られたものの、欠損発生部での硬化は確認されず、要因とはならないと考えられる。

(d) 残留ひずみ

残留ひずみ測定において、欠損発生部においては低い値を示していたことから、溶接時の残留ひずみは要因とはならないと考えられる。

(e) 元素分析

元素分析（成分分析）において、酸素、窒素ならびにスズは、ミルシートと同程度の値であり、酸素、窒素の取り込みやスズの揮発は確認されなかった。また、元素分析（FE-E PMA分析）において、組織観察で見られた析出物が鉄およびクロムであることが確認された。

(f) 腐食試験

通常のC/Bを製作する場合と同じ手順で製作した試験片の一部において小さな斑点状の模様が確認されたが、実機で見られたような腐食は確認されなかった。また、空気混入を想定した試験片の一部、チャンバ内の湿度を上げて溶接を行った試験片において腐食が見られたが、実機で見られた溶着部の様相とは異なるものであった。

d. 調査結果に対する考察

元素分析（成分分析）結果および空気混入を想定した試験片の腐食試験結果から「酸素、窒素の混入」は要因とはならないと考えられる。硬さ測定および残留ひずみの測定結果から「溶接時の残留ひずみ」も要因とはならないと考えられる。また、腐食試験の結果から「湿度による影響」も要因とはならないと考えられる。一方、組織観察および元素分析（FE-E PMA分析）において鉄およびクロムが結晶粒界に析出していることが判明した。

先に述べたとおり、ジルコニウム合金は耐食性を向上させるため、鉄、クロム等の元素を添加している。特に鉄は耐食性に対する影響が大きく、ジルコニウム合金に満遍なく存在していれば耐食性は向上するが、析出物として偏析した場合には、鉄の濃度が低下している領域が増えることにより、耐食性が低下することになる。ジルコニウム合金の結晶構造は温度が上昇すると α 相から β 相に変態する。溶接時は高温のため β 相であり、冷却される際に β 相から α 相に遷移する。この遷移時に、溶接後に急冷した場合には、鉄およびクロムが分散して存在している状態で安定するが、溶接時に入熱量が大きく冷却速度が低下した場合、徐々に針状組織の粒径が粗大化し、針状組織には鉄がほとんど固溶しないため粒界に鉄およびクロムが移行することから、偏析が生じる。鉄およびクロムは耐食性を向上させるためにジルコニウム合金に添加されているが、析出物として偏析した場合、耐食性に影響のある鉄およびクロムの濃度が低下した領域が増えることにより、耐食性が低下することになる。

以上のことから、針状組織が粗大化することにより、鉄およびクロムが結晶

粒界に偏析し耐食性が低下した可能性が考えられる。

クリップ溶接時に当て金のタンタル板を予熱するため、クリップ端部の入熱量は他の溶接部位と比較して約3～10倍となる。入熱量が大きいため冷却速度が低下した結果、組織観察において針状組織の粗大化が確認されたと考えられる。その結果、FE-EPMA分析で確認されたようにクリップ端部では鉄が結晶粒界に偏析した結果、鉄の濃度が低下した領域が増えて耐食性が低下することにより腐食した可能性が考えられる。

しかし、欠損は全てのC/Bに発生しているわけではなく発生確率が低いこと、また欠損が特定の面で発生する傾向があることから他にも要因がある可能性がある。そこで溶接時に使用しているタンタル板に注目して追加の調査を行った。

(2) 追加調査（当て金：タンタル板の影響）

a. 調査項目

針状組織の粗大化は溶接後の冷却速度と関連があることがわかっている。冷却速度に影響するものとして、クリップ部を溶接する際に当て金として使用しているタンタル板が考えられる。タンタル板は、クリップ部にボルトで固定するが、その際タンタル板の片側がC/Bから離れる可能性がある。そこで、タンタル板をC/Bの両面に密着させた場合、タンタル板をC/Bの片側の面のみ密着（以下「密着面」という。）させもう一方の面（以下「非密着面」という。）にすき間がある状態においてC/B試験片とクリップの溶接を行い、温度測定を実施し冷却速度を評価する。また、当該試験片について組織観察およびFE-EPMA分析により鉄の相対濃度分析を行う。

b. 調査結果

タンタル板を両面密着させた場合、冷却速度は両面とも大きな差は無かった。一方、片面密着の場合、密着面の冷却速度は非密着面の1/2以下となった。組織観察においては、片面密着では密着面の方が非密着面と比較して針状組織の粗大化が進んでいる様子が観察された。また、鉄の相対濃度については、片面密着では密着面の方が非密着面より低下していることがわかった。両面密着の場合、針状組織の様子や鉄の相対濃度について、C/Bの両面で大きな差異はなかった。

3. 4. 4 神戸製鋼製以外のC/Bに関する調査

神戸製鋼製以外でのクリップ部の一部欠損は、当社においては日立製作所（以下「日立」という。）で製造されたC/Bで確認されている。

日立では、平成14年に溶接設備の変更を実施しており、それ以降に製造したC/Bでは欠損は確認されていない。

溶接設備変更以前の事象として平成9年に東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所5号機で類似事象が確認されており（製造時期は平成元年（1989年）頃）、当

時東京電力株式会社にて実施した状況確認、再現試験等により、溶接施工時のバックパージガスの供給不足が原因で事象が発生したものと推定されている。この事象の対策以降、日立製C/Bでは欠損は確認されていないことから、原因は平成9年の推定どおりと考えてよいものと思われる。

なお、平成14年の設備変更時の対応等として現行溶接設備では、次の対策が実施されている。

- ・ トーチガス供給不足対策として、供給範囲を広げるためにノズル径を拡大
- ・ バックパージガス流量が低下した場合でも溶接部全体にガスが供給されるようにバックパージガスの供給口を増加
- ・ トーチガス、バックパージガスの供給不足が発生しないように流量計を設置し、流量の確認を確実に実施するよう作業管理を実施

今回の調査の中では、現行設備等の妥当性を確認するために溶接条件を変えた試験片を製作して腐食試験を実施し、平成9年当時に東京電力株式会社が実施した調査結果との比較を実施した。この結果、バックパージガスの供給不足では48時間の腐食試験では腐食は再現せず、トーチガスの供給不足では平成9年当時と同じ24時間腐食試験では事象が再現しなかったものの48時間腐食試験では腐食の再現が確認される結果となった。

いずれにしても、溶接環境は改善されていることがわかる結果を得ることができた。

3. 4. 5 推定原因

(1) 神戸製鋼製C/B

上記調査の結果、以下のことがわかった。

- ・ クリップ溶接部の組織観察およびF E-E PMA分析の結果により、針状組織が粗大化し、鉄が粒界へ析出していることを確認した。これにより耐食性が低下している可能性がある。
- ・ 針状組織の粗大化は溶接時の入熱量によって影響を受けるが、クリップ端部の入熱量は他の溶接部位と比較して大きく、実機ではクリップ端部以外の溶接部において欠損が見られていない現象と一致する。
- ・ 実機で確認されたクリップ部の欠損は、発生確率が低く、また、特定の面で発生する傾向がある。今回の調査では、クリップ部を溶接する際に使用しているタンタル板のC/Bへの取り付け状況によっては、密着面のみ冷却速度が低下する可能性があることが確認された。
- ・ 元素分析、残留ひずみ測定等の結果より、「酸素、窒素の混入」、「湿度による影響」および「溶接時の残留ひずみ」は要因とはならないと考えられる。

以上より、推定原因は以下のとおりである。

- ・クリップ溶接部は、溶接時の入熱量が大きいことから針状組織が粗大化して鉄の濃度が低下した領域が増加する。
- ・さらに、クリップ溶接時に使用するタンタル板のC/Bへの取り付け状況によっては、溶接時の冷却速度が有意に低下することがある。
- ・上記のとおり、タンタル板の取り付けの影響により、クリップ端部において鉄の濃度が低下した領域がさらに増えて、耐食性が低下し、腐食が発生して欠損に至ったものと推定される。

(2) 日立製のC/B

東京電力株式会社の平成9年の調査結果から日立製のC/Bについての推定原因は以下のとおりである。

- ・バックパージガスの供給不足によって溶接部の空気が混入
- ・空気の混入により溶接部の耐食性が低下し、腐食が発生して欠損に至ったものと推定される。

3. 4. 6 再発防止対策

(1) 神戸製鋼製C/B

3. 6に後述するとおり、一部欠損があったC/Bの継続使用は安全上問題ないが、神戸製鋼においては品質の更なる向上の観点で、上述した推定原因に基づき新たな溶接機を導入して溶接時の入熱量を下げ、タンタル板を使用しない溶接方法とする。

また、他の製造者において過去に酸素、窒素混入による欠損が確認されていることから、合わせて酸素、窒素混入の対策も求めていくこととする。

具体的な対策は以下のとおりとする。

- ・入熱量を低下させるための電源装置、コントローラ等の溶接機の変更
- ・タンタル板使用の廃止による溶接手順の改善
- ・空気混入防止のための溶接装置上部開口部の改良
- ・溶接装置内酸素濃度測定による監視機能の強化

(2) 日立製のC/B

3. 4. 3のとおり、平成14年の対策以降に欠損は確認されていない。

このことから、新たな対策は不要と考えられるが、今回の調査でトーチガス供給不足時に腐食が再現されることが確認されていることから、メーカへは引き続き、トーチガスおよびバックパージガスの供給管理を求めていくこととする。

3. 5 チャンネルボックス上部の欠損に伴い生じると考えられる金属片による原子炉施設への影響の評価及び対策（指示事項5. 対応）

他BWR電力においても神戸製鋼製C/Bおよび日立製C/Bに一部欠損が確認されている。このことから、BWR電力事業者は共同で本事象の原因究明を実施しており、その一環として当社島根原子力発電所において神戸製鋼および日立で製造されたC/B上部（クリップ）の欠損部の試料を採取し分析を実施した。その結果、欠損部はジルコニウムの腐食生成物と推定された。また、試料採取の際に採取治具にて当該部をこすったところ細かい粉末状になったことから、燃料、炉内構造物等の安全性に影響を与えるものではないことを確認した。

3. 6 上部に欠損の確認されたチャンネルボックスの継続使用の可否について

他BWR電力を含めC/Bに欠損があった燃料は、1サイクルのみ照射されたものから使用済燃料に至るまで幅広いが、欠損はクリップ端部に限られている。

また、C/B試験片による組織観察においても、耐食性の低下をもたらす組織が確認されているのは熱影響部および溶着部に限定されており、かつ、クリップ端部においてその傾向が顕著である。母材部においては耐食性低下の要因となる組織は確認されていない。したがって、欠損する可能性がある範囲は限定されているため、C/Bの機能（燃料体内の冷却材流量確保、制御棒ガイド機能等）には影響ない。

以上のとおり、一部欠損のあったC/Bの継続使用は可能であるものの、欠損が確認されたC/Bを継続使用する場合には、当面の間定期検査時に欠損部の状況を確認していくこととする。

以 上