

伊方発電所3号機
出力領域中性子束計器の不具合について

令和6年6月
四国電力株式会社

1. 件 名

伊方発電所 3 号機 出力領域中性子束計器の不具合について

2. 事象発生の日時

令和 5 年 1 1 月 2 2 日 1 1 時 2 1 分

3. 事象発生の設備

3 号機 炉外核計装盤

4. 事象発生時の運転状況

3 号機 通常運転中（電気出力 9 2 3 MW）

5. 事象発生の状況

伊方発電所 3 号機は、通常運転中のところ、出力領域中性子束^{*1}を計測する回路の 4 チャンネル^{*2}のうち 1 チャンネル（以下、「当該チャンネル」という。）について、中央制御室に設置している指示計の表示に不具合があることから、1 1 月 2 2 日 1 1 時 2 1 分、点検が必要であると保修員が判断した。

その後、点検のため当該チャンネルを隔離したことから、同日 1 5 時 0 2 分、伊方発電所原子炉施設保安規定^{*3}（以下、「保安規定」という。）に定める運転上の制限^{*4}から逸脱した。

その後の点検により、当該チャンネルの炉外核計装盤^{*5}の絶縁増幅器^{*6}（以下、「当該増幅器」という。）に不具合があることを確認したため、当該増幅器を予備品に取り替えた。

取り替え後、当該チャンネルの指示計の表示が正常になったことを確認したことから、同日 1 6 時 3 0 分に運転上の制限の逸脱から復帰し、通常状態に復旧した。

なお、本事象によるプラントへの影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－ 1、 2）

※1 出力領域中性子束

通常運転中の原子炉出力の計測に用いられる中性子の量。

原子炉の運転や制御保護動作に使用するために炉心の中性子束のレベルを4つの計器にて計測している。原子炉起動から通常運転中に発生する中性子の量を監視する必要があるため、3つの計測領域（線源領域、中間領域、出力領域）を設けている。

※2 チャンネル

検出部から指示計を含む信号を伝送する回路の単位。

※3 伊方発電所原子炉施設保安規定

原子力発電所が運転中および停止中に事業者が実施すべき事項や、従業員などへの保安教育の実施方針など原子力発電所の保安のために必要な事項を定めているもの。

※4 運転上の制限

保安規定では、安全機能を確保するために必要な機器の台数などを「運転上の制限」として定めており、出力領域中性子束を計測する回路は所要数を4チャンネルとし、通常運転を行っている期間に動作可能であることを求めている。

一時的にこれらを満足しない状態が発生すると、運転上の制限の逸脱に該当し、速やかに保安規定で定める措置（動作可能な状態に復旧する措置の開始など）を実施しなければならない。

本事象では、出力領域中性子束を計測する回路の所要数を4チャンネルと定めているところ、点検のため4チャンネルのうち1チャンネルを隔離したことから所要数を満たすことができず、一時的に運転上の制限を逸脱したものである。

※5 炉外核計装盤

出力領域中性子束検出器^{※6}からの信号を受け、原子炉の制御保護動作に使用するために炉心の中性子束レベルを計測する装置であり、独立した4チャンネルで構成されている。

※6 絶縁増幅器

炉外核計装盤から出力領域中性子束の信号を外部に出力するため、信号を変換する基板。

※7 出力領域中性子束検出器

通常運転中の原子炉の中性子を計測するための検出器。検出器は独立した4チャンネルで構成されており、チャンネル毎に独立した炉外核計装盤に入力されている。

6. 事象の時系列

1 1月22日

- | | |
|---------|--|
| 1 0時02分 | 当該チャンネルについて、中央制御室に設置している指示計の表示に不具合があることを運転員が確認
当直長は出力領域中性子束に係るその他のパラメータを確認し、当該チャンネルの指示計以外に異常はないことを確認。 |
| 1 0時13分 | 当直長から保修担当課長へ状況連絡 |
| 1 0時25分 | 保修員が、現地確認を開始 |
| 1 1時21分 | 保修員は、当該増幅器の不具合の可能性が高いことを確認し、詳細な点検が必要と判断 |
| 1 5時02分 | 点検のため、当該チャンネルを隔離したことから運転上の制限から逸脱を判断 |
| 1 5時21分 | 当該増幅器の信号が正しく出力されていないことを確認したため、当該増幅器の不具合であることを特定。予備品への取り替え作業を開始 |
| 1 5時52分 | 当該増幅器の取り替えを完了。指示計の健全性確認を開始 |
| 1 6時12分 | 当該増幅器から指示計までの健全性確認完了 |
| 1 6時30分 | 健全性確認試験の結果、当該チャンネルの指示計および炉外核計装盤に問題はなく、設備に異常がないことから、保安規定に定める運転上の制限の逸脱から復帰し、通常状態に復旧 |

7. 調査結果

出力領域中性子束計器の不具合について、以下の調査を実施した。

(1) 事象発生時の状況調査

a. 事象発生時の状況

中央制御盤に設置している当該チャンネルの指示計の表示が下限位置となっていることを運転員が確認した。当直長は速やかに出力領域中性子束に係るその他のパラメータを確認し、当該チャンネルの指示計以外に異常はないことを確認した。また、中央制御盤に設置している運転監視用モニタおよび炉外核計装盤に表示している当該チャンネルの指示は正常であることを確認した。

(添付資料-2)

b. 出力領域中性子束の監視状況

事象発生時、当該チャンネルについては、中央制御盤に設置している運転監視用モニターで監視ができていたこと、および出力領域中性子束に係る警報等の発信もないことから、出力領域中性子束の監視に問題はなく、運転上の制限も満足していた。

その後、点検のため、当該チャンネルを隔離したことから1チャンネル動作不能となり、運転上の制限から逸脱することとなったが、この間は、出力領域中性子束を計測する回路である4チャンネルのうち3チャンネルで監視ができていた。

(2) 当該チャンネル計器の状況調査

a. 保修員による確認結果

保修員が当該増幅器から当該チャンネルの指示計へ出力される信号を計測したところ、当該増幅器から正しく信号が出力されていないことを確認した。

当該増幅器を予備品へ取り替え後、健全性確認を実施し、当該チャンネルの指示計の表示が正常であることを確認した。

b. メーカー調査結果

当該増幅器をメーカーへ送付し、調査を実施した。

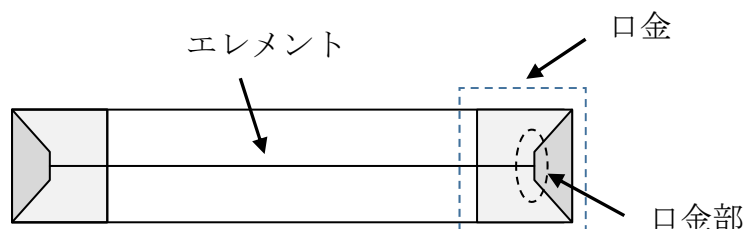
(a) 当該増幅器の状態確認

当該増幅器の調査を実施したところ、ヒューズ^{※8}の口金部においてエレメント^{※9}の断線が確認された。

また、当該増幅器の基板には異物の付着もなく外観上に異常は確認されなかった。

このため、新品のヒューズへ取り替えを実施した後、当該増幅器の機能確認を行い、正常に動作することを確認した。

(添付資料-3)



ヒューズ概要図

※8 ヒューズ

電気回路の保護や、電気火災を防止するため、過電流が流れた際に自ら溶断することで回路を保護する部品。経年使用による金属疲労の蓄積等により断線が発生することから消耗部品として定期的に取り替えを行う必要がある。

※9 エレメント

ヒューズ内の配線であり、過電流で溶断する部分。

(b) エレメントが断線した要因の調査

エレメントが断線した要因として考えられる下記の項目について調査を実施した。

ア. 過電流による要因

エレメントの断線面について、電子顕微鏡にて確認したところ、過電流により発生する模様は確認されなかった。

イ. 過電圧による要因

エレメントの断線部について、目視にて確認したところ、過電圧により生じる焦げは確認されなかった。

ウ. 金属疲労による要因

エレメントの断線面について、電子顕微鏡にて確認したところ、金属疲労^{※10}により発生する縞模様および引張応力^{※11}によって発生する凹凸状の模様を確認した。このため金属疲労の発生要因となる、温度および振動の影響について確認した。

温度については、通電、無通電時におけるエレメントの温度変化を、同型式ヒューズを使用して調査した結果、ヒューズに金属疲労を発生させるほどの有意な温度変化は確認されなかった。

振動については、当該ヒューズを搭載している炉外核計装盤は、有意な振動が発生する設置環境ではないため、ヒューズなど構成部品へ金属疲労を発生させるほどの振動の可能性は低い。

上記のとおり温度および振動には、金属疲労を発生させる支配的な要因は特定できなかったものの、設置環境等の複合的な要因で金属疲労が発生し、経年的に蓄積した可能性は否定できない。

エ. 使用期間による要因

通常使用におけるヒューズの有効寿命については約6年を想定しており、現状の取り替え周期である4定検（約6年）毎の取り替えでも問題ないと考える。

オ. 品質管理上の要因

エレメントの太さについて、当該ヒューズと同型式ヒューズとの比較調査を実施したが、有意な差の判定基準はないものの、エレメントの径が半分であるなど明らかな差はなかった。

また、当該ヒューズのエレメントについて不純物混入の有無を調査したが、エレメントを構成する銅、銀などが確認されたのみであり、不純物は確認されなかった。

更に、耐衝撃性を確認するため、同型式ヒューズを搭載している状況では考えにくい高さ（10cm程度）から、ガラス管が損傷しない程度の負荷をエレメントにかけるように、100回落下させたが、断線は確認されなかった。

そのほか、製作ロット単位のヒューズで、不具合は発生していない。

よって、出荷プロセスにおける品質管理上の要因は確認されなかった。

（添付資料－4、5）

※10 金属疲労

金属に温度や振動による一定荷重が繰り返し付加されることで微細な亀裂が生じるなど強度が下がる現象。

※11 引張応力

材料に引張荷重が加わった時にその物体内部に生ずる力。

以上の調査結果を踏まえ、メーカーから以下の回答があった。

本事象は、ヒューズの口金部において、エレメントに金属疲労が発生し、エレメントが引張応力に耐えることができず断線が発生した事象であると推定する。

今回様々な調査を行ったが、金属疲労の支配的な要因は特定されなかったため、設置環境等の複合的な要因による金属疲労が原因で、エレメントの断線に至ったものと推定する。

金属疲労による断線のリスクを低減させる対策として、交換周期を短縮することが有効である。類似事象の発生は過去に無く、本事象についても取り替え後から約6年が経過して発生したものであることから、取り替え作業における機器破損のリスク等も総合的に判断し、ヒューズ（消耗部品）の交換を現状の4定検（約6年）毎から3定検（約4年）毎に短縮することを推奨する。

(3) 保守状況の調査

当該増幅器を含む炉外核計装盤の定期点検は、以下のとおり実施している。

a. 至近の点検

令和5年3月16日～5月1日

(伊方発電所3号機第16回定期事業者検査中)

b. 点検周期

1回／1定検

なお、当該ヒューズについては、4定検(約6年)毎に取り替えを実施(定検が長期化した場合でも、適切に追加点検を実施)しており、至近では、平成29年10月20日(伊方発電所3号機第14回定期事業者検査中)に、当該増幅器のヒューズを取り替えている。

c. 点検内容および結果

炉外核計装盤の電圧計測、指示確認、部品取り替え等を実施し異常は見られなかった。

(4) 過去の類似事象の調査

伊方発電所における、同型式のヒューズが断線した過去事象を調査したところ、類似事象はないことを確認した。

(5) 類似設備の調査

伊方発電所3号機において、炉外核計装盤と同様の設置環境で他に同型式のヒューズを使用しているものはなかった。

8. 推定原因

本事象は、当該増幅器のヒューズ口金部において、設置環境等による複合的な要因でエレメントに金属疲労が発生し、エレメントが引張応力に耐えることができず断線が発生した事象であると推定した。

9. 対策

(1) 当該増幅器については、予備品との取り替えを実施した。

(2) 炉外核計装盤で4定検(約6年)毎の取り替えを計画しているヒューズについて、念のため、次回の伊方発電所3号機第17回定期事業者検査(令和6年7月開始予定)にて取り替えを実施する。

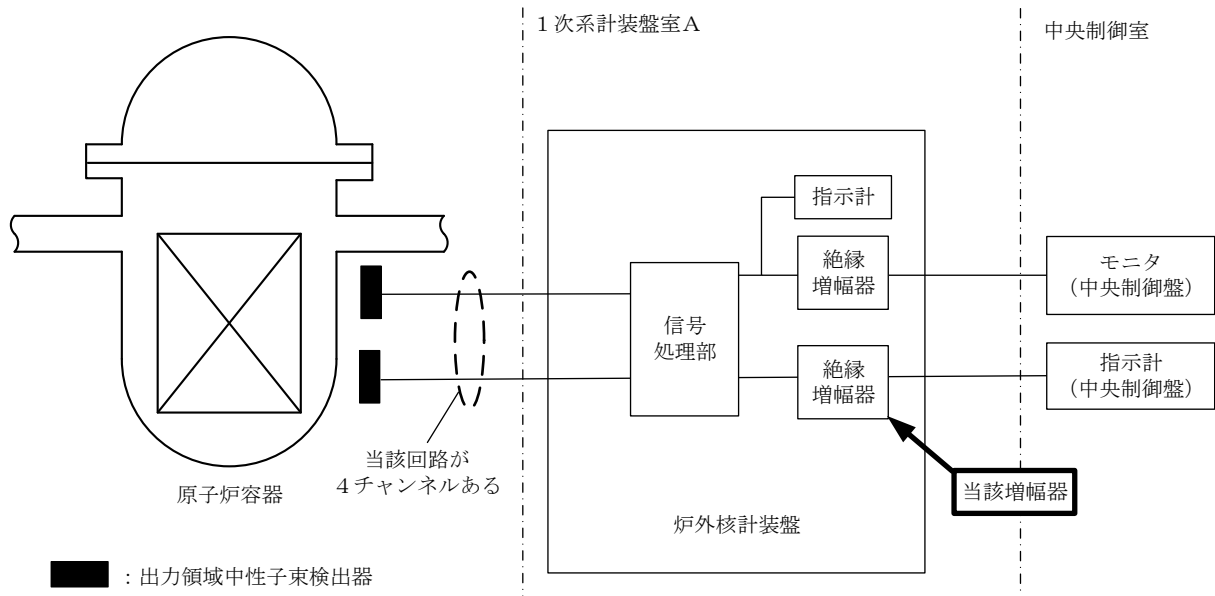
- (3) 金属疲労による断線のリスクを低減させるため、取り替え作業における機器破損のリスク等も総合的に判断し、炉外核計装盤で4定検（約6年）毎の取り替えを計画しているヒューズについては、交換周期を現状の4定検（約6年）毎から3定検（約4年）毎に短縮するように見直しを実施した。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方発電所 3 号機 出力領域中性子束信号概略図
- 添付資料－ 2 伊方発電所 3 号機 出力領域中性子束計器の不具合発生
および復旧状況
- 添付資料－ 3 伊方発電所 3 号機 出力領域中性子束計器 現地状況写真
- 添付資料－ 4 伊方発電所 3 号機 ヒューズのエレメント詳細調査写真
- 添付資料－ 5 伊方発電所 3 号機 ヒューズのエレメント温度変化調査

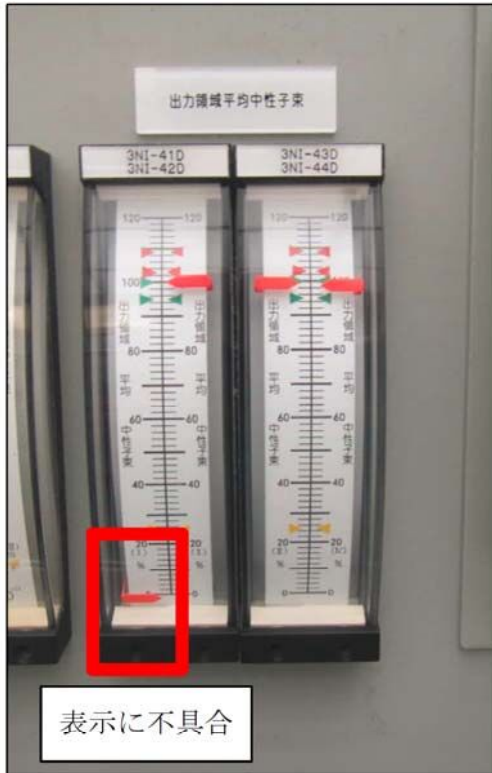
伊方発電所3号機 出力領域中性子束信号概略図



伊方発電所3号機 出力領域中性子束計器の不具合発生および復旧状況

事象発生時

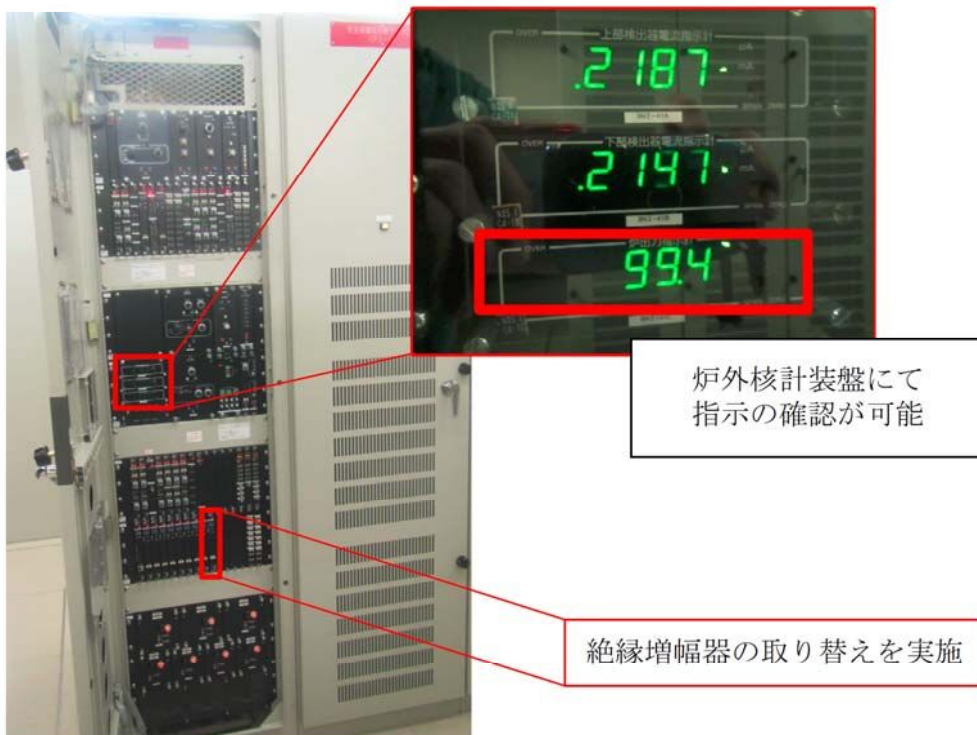
絶縁増幅器取り替え後



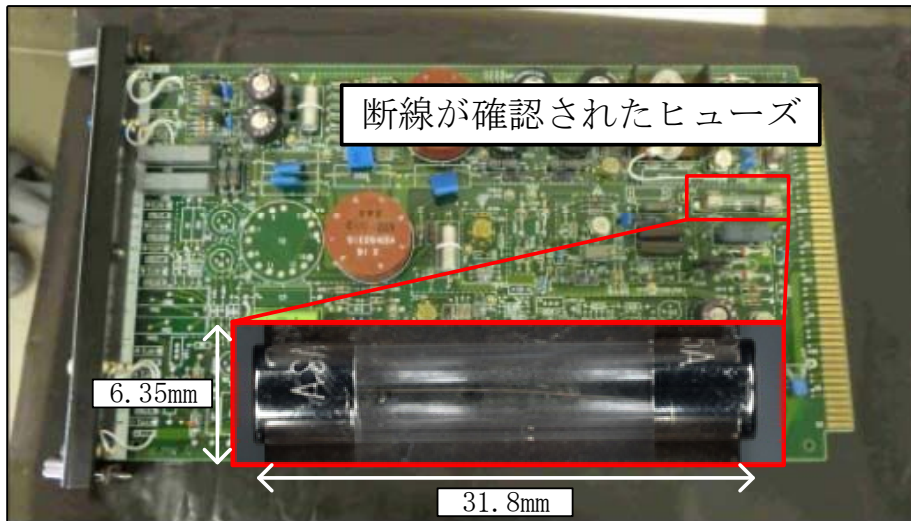
指示計 (中央制御盤)



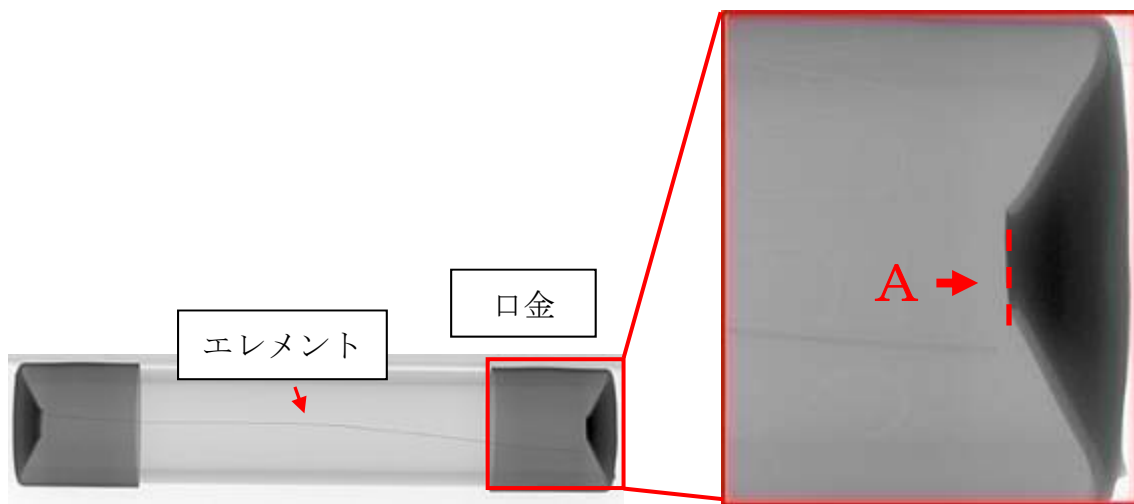
指示計 (中央制御盤)



炉外核計装盤



当該増幅器



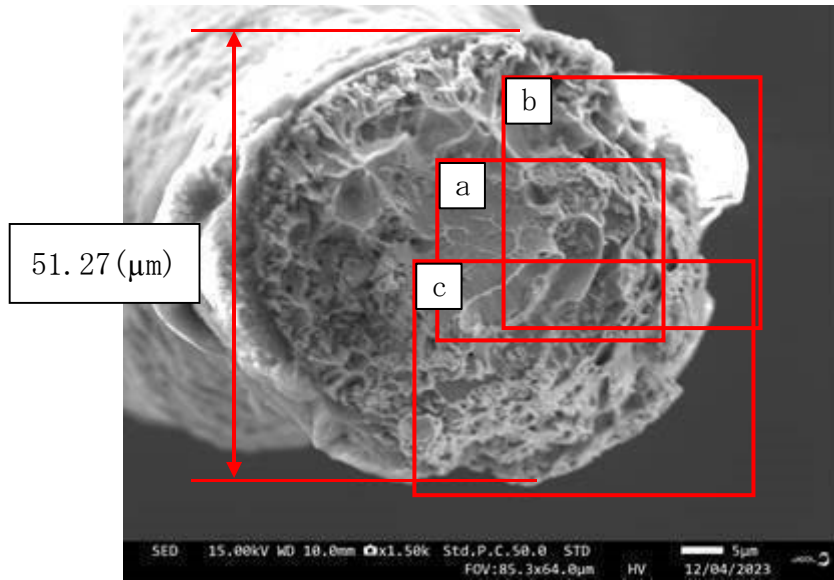
ヒューズ外観 (X線)

ヒューズ口金拡大 (X線)

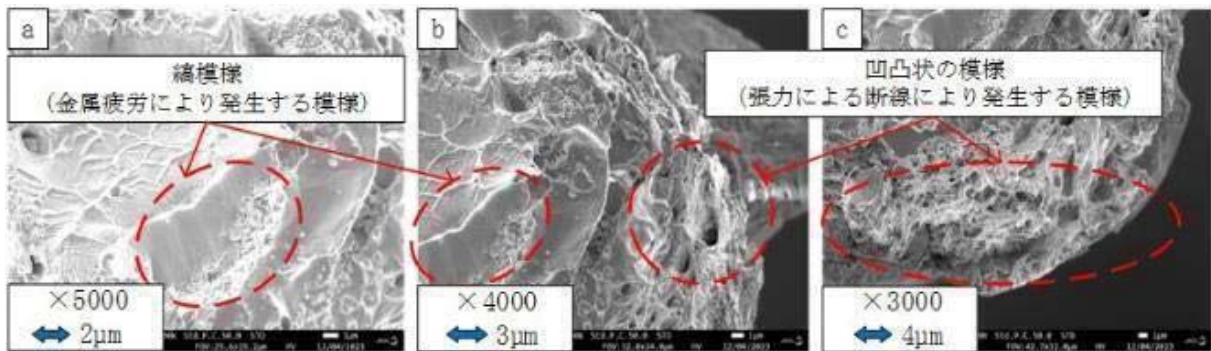


ヒューズ口金部 (A矢視)

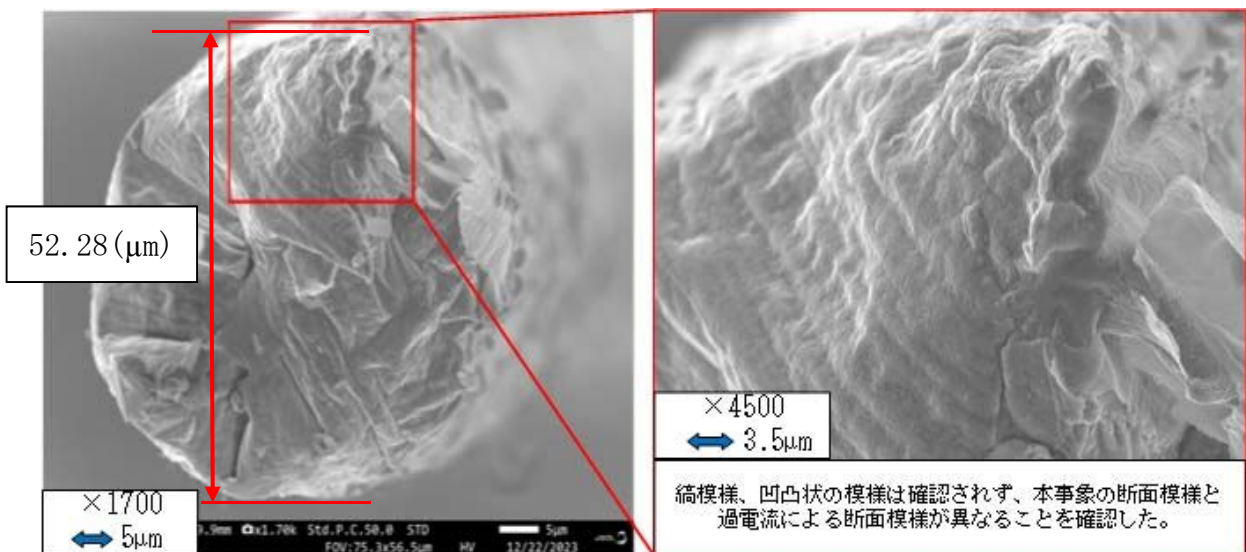
伊方発電所 3号機 ヒューズのエレメント詳細調査写真



当該ヒューズのエレメント断面図

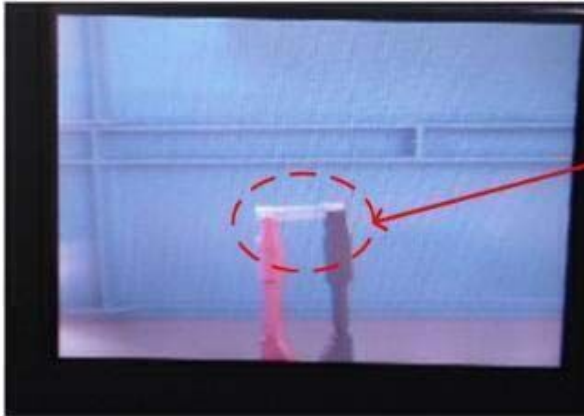


当該ヒューズのエレメント断面図 (詳細)



(参考) 過電流により断線した場合のエレメント断面図

伊方発電所 3号機 ヒューズのエレメント温度変化調査
(同型式ヒューズによる調査)



ヒューズ無通電



ヒューズ温度変化調査 試験状況



無通電時のエレメント温度：25.3℃

ヒューズ無通電 (サーモグラフィ)



通電時のエレメント温度：25.3℃
通電電流：20mA
計測：通電開始後約 5 分

ヒューズ通電 (サーモグラフィ)