

伊方発電所第1号機
中性子束検出器の指示不良について

平成25年6月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第1号機 中性子束検出器の指示不良について

2. 事象発生の日時

平成24年11月3日 0時52分（信号発信）

3. 事象発生の設備

炉外核計装設備

4. 事象発生時の運転状況

第28回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第1号機は第28回定期検査中のところ、11月3日0時52分、中央制御室に中間領域中性子束検出器*1の不調を示す信号が発信した。

調査を実施したところ、2系統ある中間領域中性子束検出回路のうち、1系統の高圧電源ユニット*2の出力電圧が、通常約800Vであるところ、0Vとなっていることを確認した。

このため、当該高圧電源ユニットの取り替えを行い、出力電圧が正常状態であることを確認し、11月3日10時15分通常状態に復旧した。

なお、伊方発電所第1号機の原子炉は停止中であり、中性子束レベルは線源領域中性子束検出器*3で監視している。

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）

*1 中間領域中性子束検出器

: 原子炉起動時から原子炉出力約10%までの原子炉の中性子の量をはかる計器

*2 高圧電源ユニット

: 中間領域中性子束検出器に安定した高圧電源を供給するもの

*3 線源領域中性子束検出器

: 原子炉停止時および起動時の原子炉の中性子の量をはかる計器

6. 事象の時系列

平成24年11月3日

0時52分 「中間領域検出器電源喪失CH2」信号発信

2時50分 当該高圧電源ユニットの出力電圧が0Vであることを確認

5時30分 当該高圧電源ユニットの交換作業開始

10時15分 取り替えた高圧電源ユニットの出力電圧が正常状態であることを確認し、通常状態に復旧

7. 調査結果

(1) 事象発生時の状況調査

- a. 炉外核計装盤にて、中間領域（Ⅱ）チャンネルの高圧電源ユニットに計測器を接続し、出力電圧を確認したところ、通常約800Vであるところ、0Vとなっていることを確認した。
- b. 出力電圧0Vとなった原因が検出器側によるものか、高圧電源ユニット側によるものかを確認するため、炉外核計装盤にて中間領域（Ⅱ）チャンネルへの供給電源を「切」とし、検出器側のケーブルを切り離れた後、再度、同供給電源を「入」としたところ、高圧電源ユニットの出力電圧は0Vのままであった。
このため、高圧電源ユニット側の故障と判断し、当該高圧電源ユニットの取り替えを実施した。
- c. 取り替えを行った高圧電源ユニットに検出器側のケーブルを接続し、中間領域（Ⅱ）チャンネルへの供給電源を「入」とし、正常状態に復帰した。

(2) 高圧電源ユニット調査

a. 現地調査

(a) 外観目視確認

外観目視点検の結果、破損、異臭等の異常は認められなかった。

b. 詳細調査

当該高圧電源ユニットをメーカー工場に送り、詳細調査を実施した。

(a) 外観目視確認

外観目視点検の結果、内部部品に損傷、焼損等の異常は認められなかった。

(b) 単体確認

当該高圧電源ユニットに電源を供給した状態で出力電圧を確認したところ、0Vであることが確認され、事象の再現が認められた。

このため、内部部品の調査を行ったところ、トランス*4 製造時の二次側の抵抗管理値(17.55Ω±10%)に対して、無限大(開放状態)であることが確認された。

その他の部品については、異常は認められなかった。

(添付資料-2)

*4 トランス

: 交流の入力電圧を必要な電圧に変換する部品で変圧器ともいう。

(c) トランス単体調査

当該トランスを解体し、目視・触診等による確認を行ったところ、コイル巻線部に黒点状の変色が2箇所を確認され、そのうちの1箇所が断線していることが確認された。黒点状の変色が確認された2箇所

の位置は、リード線*⁵とコイル巻線*⁶のハンダ取付部分の内側であった。

断線時は電圧をかけても電流は流れないため、抵抗値は無量大（開放状態）となる。

* 5 リード線

：巻線と外部端子台とを電氣的に接続するための金属線。

* 6 コイル巻線

：銅線の表面を、樹脂でコーティングしたもの。

(d) コイル巻線の断線箇所観察

電子顕微鏡による拡大観察を行ったところ、断面部が凸凹な状態となっていることが確認された。

また、断面部が青緑色に変色しており、断線箇所の成分分析を実施したところ、塩素が検出された。

これらのことから、溶断の際に見られる丸みを帯びた断面形状や断線箇所の中央部付近で炭素が検出される特徴的な成分分析結果とは異なっており、腐食による断線であるものと推測された。

(添付資料－3)

(3) 製造工程と腐食要因の調査

トランスのコイル巻線を調査した結果、確認されたコイル巻線の腐食については、塩素の粒子が湿分と結びつき、金属表面が腐食した現象であり、さらに何らかの理由によりコーティングが傷つくなどしたことにより、腐食断線に至った可能性が考えられた。このため、材料受入工程から梱包・出荷工程までの全ての工程について確認したところ、コイル巻線工程において「塩素成分の付着」、「巻線被覆の傷」、予備乾燥工程において「水分の付着」の腐食要因が発生する可能性があることがわかった。

a. 「塩素成分の付着」

コイル巻線工程において、手袋やマスク等が着用されておらず、ハンダ付け等の作業の際に、作業員の汗や唾液等の塩素成分が付着する可能性があることがわかった。

b. 「巻線被覆の傷」

コイル巻線工程における整形処理において、万力によりコイルを挟み込み、双方向から加圧する方法となっていることから、リード線接続部にも力が加わることにより、コイル巻線の被覆に傷が付く可能性があることが、再現性試験によりわかった。

c. 「水分の付着」

予備乾燥工程における放熱処理中は、乾燥機内での保管となっているが、湿度管理された状態でなかったことから、空気中の水蒸気を吸湿する可能性があることがわかった。

なお、予備乾燥工程の次工程において、トランス全体をエポキシ樹脂コーティングで覆うことにより、コイル巻線表面に「塩素成分の付着」、「水分の付着」の腐食要因が発生することはない。

また、トランスを万力で挟み込む工程もないため、「巻線被覆の傷」も発生しない。

(添付資料－４)

(４) メーカーへの確認

当該トランスについて、同じ製造工程・手順において製作された製品は３７８台(平成１２年以降)あり、今回確認された事象以外に同一事象は確認されていない。

このうち、５２台がプラント設備として伊方発電所に設置され、２８台は使用後に取替済みで、残りの２４台は現在使用中である。

これらの使用実績は最大約４年間である。

(５) 保修状況の調査

当該高圧電源ユニットについて、定期点検を実施しており、至近では、第２８回定期検査(平成２３年９月～１１月)において、高圧電源ユニットの点検として、電源電圧の可変範囲確認および電源電圧設定を実施し、異常は認められなかった。また、第２６回定期検査(平成２１年３月～７月)において炉外核計装盤の取替(高圧電源ユニット含む)を実施していることを確認した。

８. 推定原因

当該高圧電源ユニット内部のトランス製造時に、腐食要因となる「塩素成分の付着」、「巻線被覆の傷」、「水分の付着」の全てが重なったことにより腐食が発生し、通電による加熱等で腐食が徐々に進行したことにより、二次側のコイル巻線が腐食断線に至った。このため、後段にある高圧電源ユニットの制御回路に電源が供給されず、高電圧出力制御を行う制御トランジスタが動作できない状態となり、高圧電源ユニットの出力が０Vに至ったものと推定した。

９. 対策

(１) トランス製造工程において、腐食要因となる「塩素成分の付着」、「巻線被覆の傷」、「水分の付着」の可能性が確認された以下の工程について、腐食要因の発生防止を徹底することとした。本事象は、３要因のうち１つを対策すれば発生しないが、要因全てを除去するため、３要因のそれぞれに対してメーカーの調達および製造関係帳票を改訂した。

a. 「塩素成分の付着」

コイル巻線工程において、作業員の汗や唾液等の塩素成分が付着しないよう、手袋・帽子・マスクを着用する。

b. 「巻線被覆の傷」

コイル巻線工程における整形処理において、リード線接続部が加圧されることにより、コイル巻線の被覆に傷が付くことを防止するため、リード線接続部に力が加わることのないよう、整形専用の治具を製作し、これを用いる。

c. 「水分の付着」

予備乾燥工程における放熱処理中に、コイルが空気中の水蒸気を吸湿することがないように、防湿箱内で湿度管理された状態で保管する。

(2) 同型式のものを使用しているトランス（1～3号機の全24台）については、当該品と同一の製造方法で製造されたものであるため、今回と同様な事象が発生することは否定できないことから、改訂されたメーカーの調達および製造関係帳票に基づき製造されたものに、念のため取替を実施する。

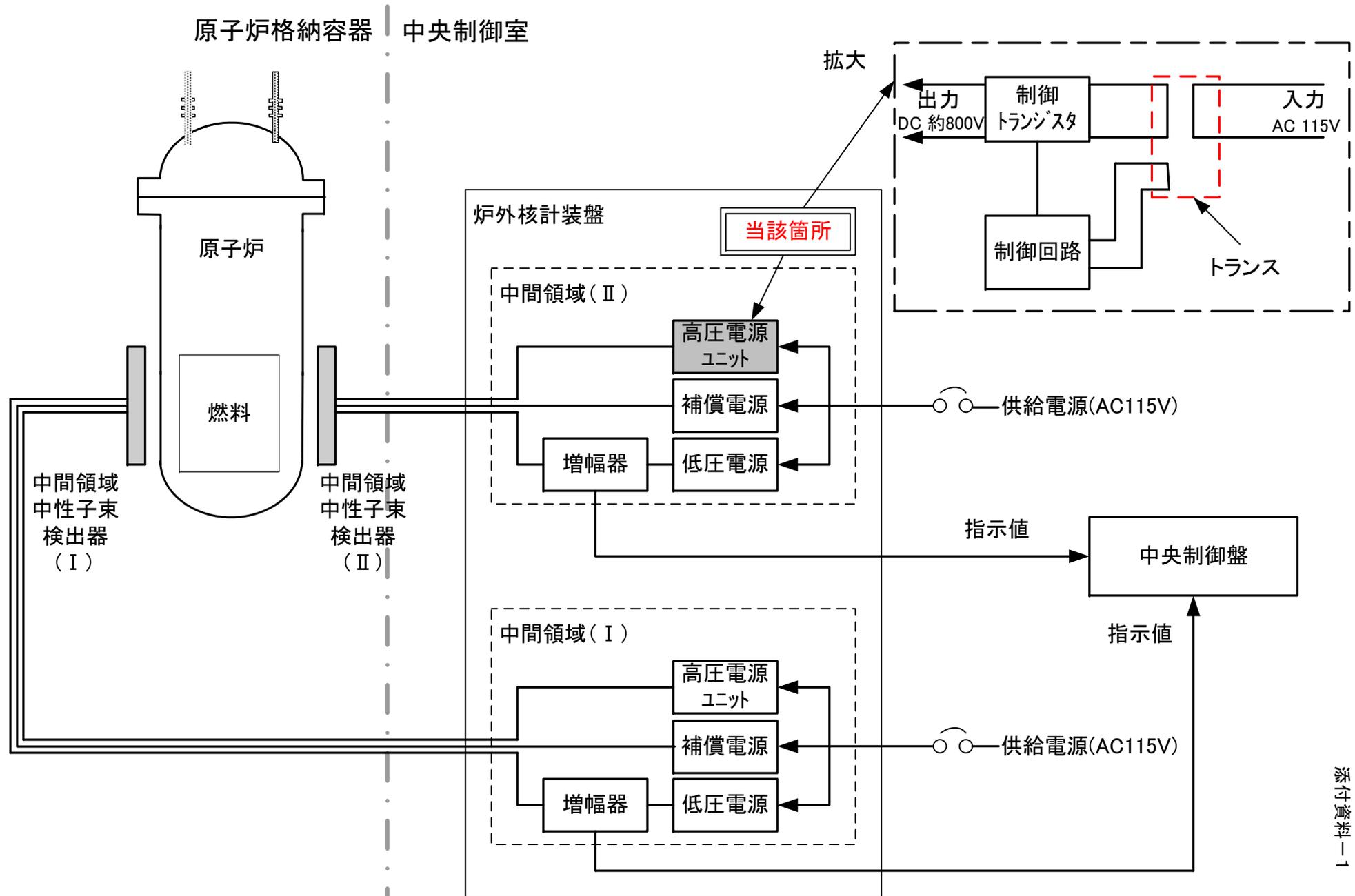
(3) 当該高圧電源ユニットについて、今後とも予備品を確保しておく。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方 1 号機 中間領域中性子束検出回路概略図
- 添付資料－ 2 高圧電源ユニットの内部部品確認結果
- 添付資料－ 3
 (1 / 2) トランスのコイル巻線部観察結果
- (2 / 2) 断線箇所の成分分析結果
- 添付資料－ 4 製造工程と腐食要因の全てが重なる可能性調査

伊方1号機 中間領域中性子束検出回路概略図

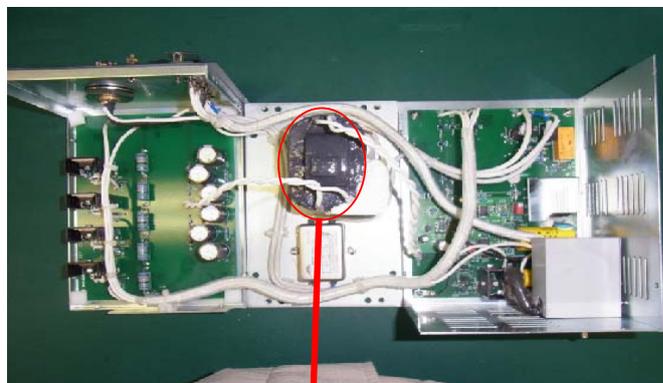


高圧電源ユニットの内部部品確認結果

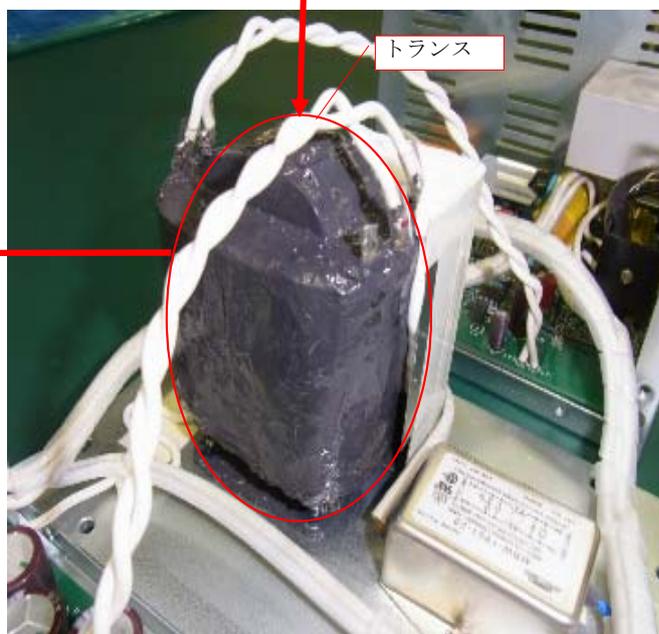
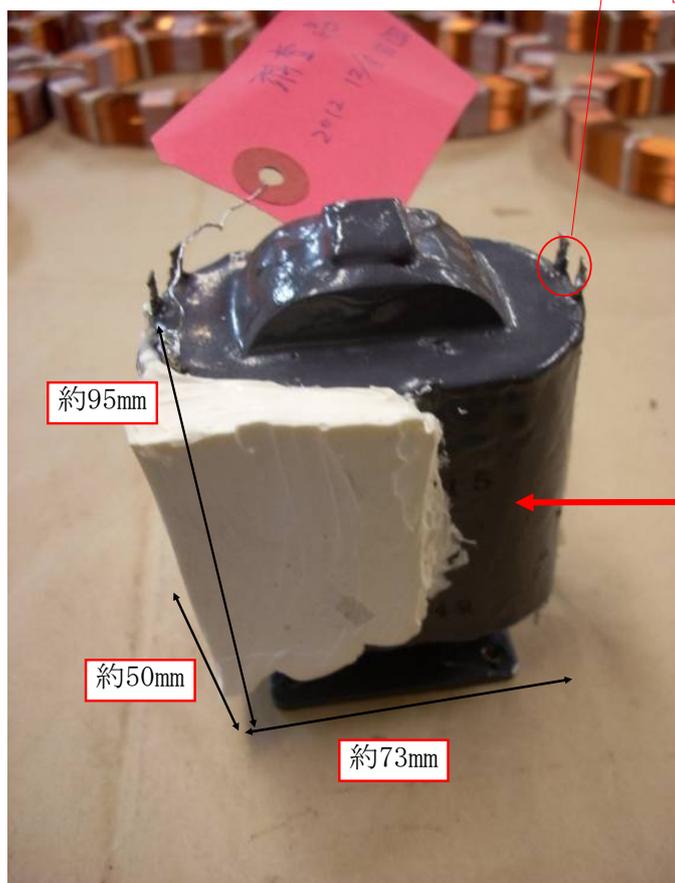
<正面>



<内部>



トランス製造時の二次側の抵抗管理値 ($17.55\Omega \pm 10\%$) に対して、無限大 (開放状態) であることが確認された。

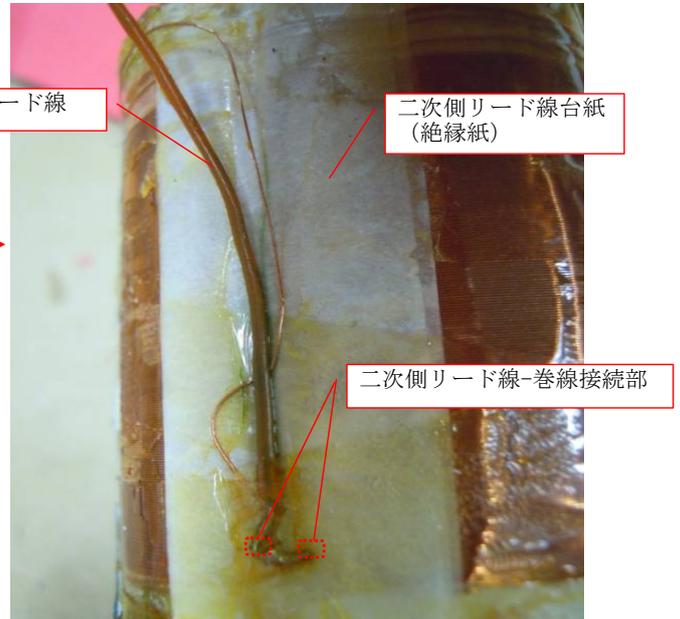


トランスのコイル巻線部観察結果

<トランス解体写真>



<リード線-巻線接続部 (ハンダ付け部)>

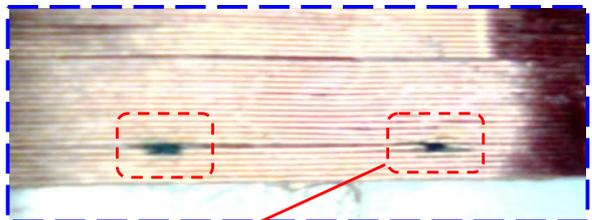


<二次側コイル巻線部>

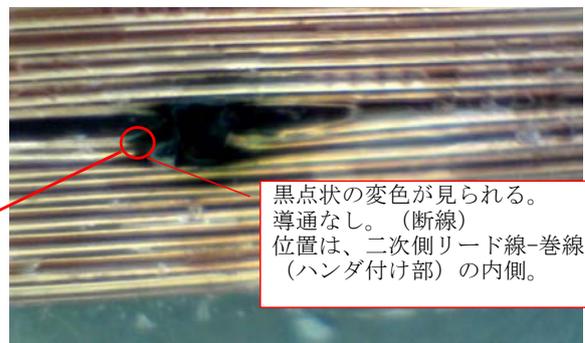


二次側コイル上に二次側リード線の跡が残っている。更に、下側部分に黒点を2箇所確認した。

<マイクロスコープで拡大>



<黒点 (右側)>



黒点状の変色が見られる。導通なし。(断線) 位置は、二次側リード線-巻線接続部 (ハンダ付け部) の内側。

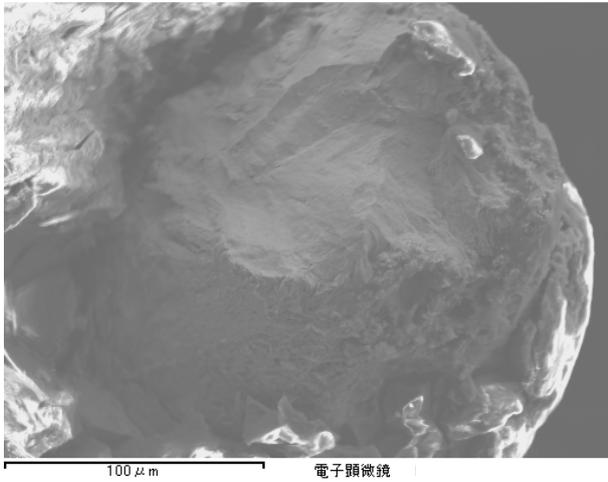
<断線箇所拡大写真 黒点 (右側)>



青緑色の変色が確認された。

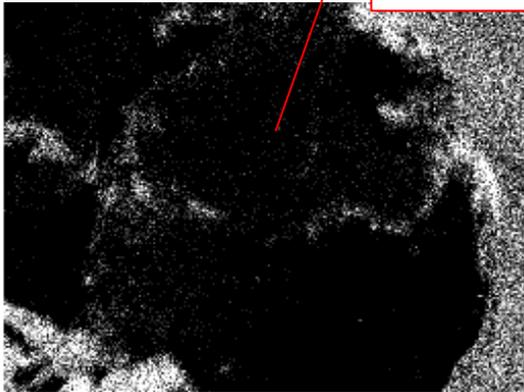
断線箇所の成分分析結果

<断線箇所拡大写真(電子顕微鏡)>



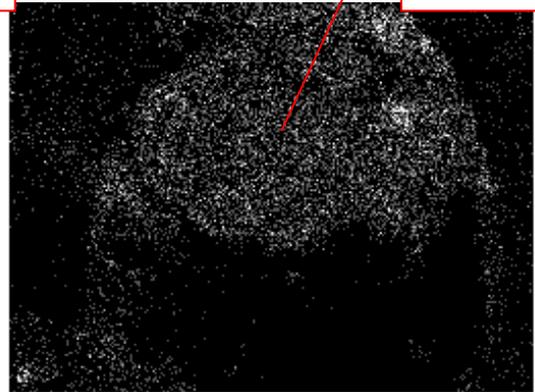
断線箇所の中央部付近に
炭素成分が検出されなかった。

中央部に
塩素成分が検出された。



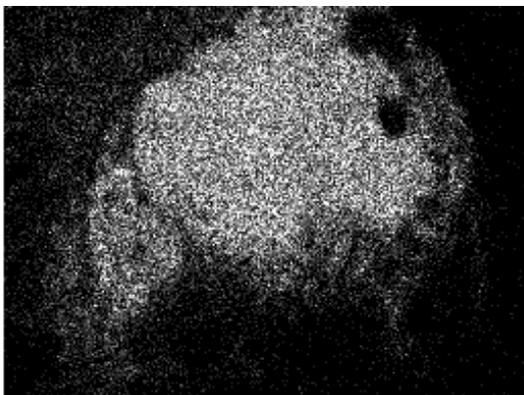
C Ka1_2

【炭素 (C)】



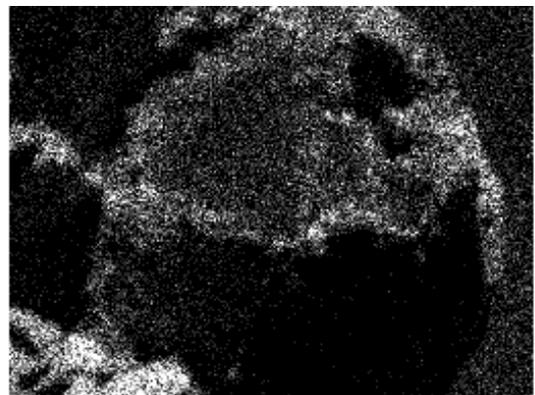
Cl Ka1

【塩素 (Cl)】



Cu Ka1

【銅 (Cu)】



O Ka1

【酸素 (O)】

写真中の白い点が、当該元素が存在する部分

製造工程と腐食要因の全てが重なる可能性調査

| トランス製造工程 | | 腐食要因の可能性 | | |
|----------|-------|----------|--------|-------|
| 大工程 | 小工程 | 塩素成分の付着 | 巻線被覆の傷 | 水分の付着 |
| 材料受入 | | × | × | × |
| 巻線 | コイル巻線 | ○*1 | × | × |
| | 整形 | × | ○*2 | × |
| 鉄心組み立て | | × | × | × |
| 予備乾燥 | 乾燥 | × | × | × |
| | 放熱 | × | × | ○*3 |

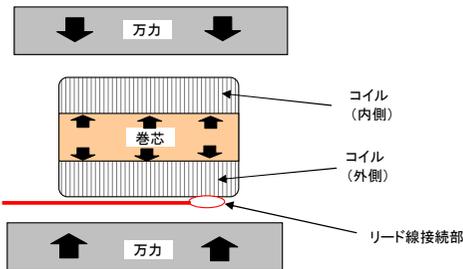
○：可能性あり、×：可能性なし

予備乾燥以降の工程

真空含浸－乾燥－硬化－清掃－エポキシ樹脂外装仕上げ－乾燥－硬化－仕上げ－検査－梱包－出荷

*1: コイル巻線工程において、作業員の汗等により塩素成分が付着する可能性あり。

*2: コイル巻線工程における整形処理において、リード線接続部が万力により加圧され、コイル巻線の被覆に傷が付く可能性あり。



*3: 予備乾燥工程における放熱処理中は、乾燥機内での保管となっており、空気中の水蒸気を吸湿する可能性あり。

製造段階

使用(通電)段階

