

### 3. 3 電気設備関連

#### 3. 3. 1 電気設備の不適合事象

##### (1) 電気設備の対象

今回の調査は、原子力発電所の“原子力を利用して、電気を発電し、その電気を送る”役割（機能）のうち“電気を送る”役割を対象範囲とした。

主な電気設備の被害事象は、表 3.3.2「主な電気設備の被害状況」のとおり

- ・ 3号機所内変圧器（3B）の火災〔1件〕
- ・ 変圧器基礎ボルトの折損、変圧器の滑動〔8件〕
- ・ 放圧装置動作、碍管破損などによる油漏れ〔16件〕

の不適合事象に分類され、3号機所内変圧器の火災はAs、それ以外はAの各区分のグレードとされている。これら各事象別に被害内容の確認と、現在の復旧状況の調査を行い、さらに今後の対応方針を確認した。

##### (2) 電気設備における耐震設計の考え方

原子力発電所は、JEAG-4601-1987「原子力発電所耐震設計技術指針」により設計されているが、電気設備は同指針において耐震クラスCの設備のため、基本的設計は、JEAG5003-1980「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に準拠して設計している。

表-3.3.1 基本的設計の考え方

電気設備	設計手法	設計地震力
変圧器	静的設計	水平加速度 0.5G
開閉設備	擬共振法による動的設計	水平加速度 0.3G 共振正弦3波

##### <参考1>0.3G 共振正弦3波

波形は正弦波で、周波数はその機器の固有振動数（共振周波数）で、加速度が0.3Gとなる振幅の地震力を地表面に入力した時の応答。

##### <参考2>変圧器最短距離の地震計による観測値

1号機主変圧器から約500m地点の「1号機地盤系」地震計で観測された最大加速度値は、

- ・ NS：503 Gal
  - ・ EW：548 Gal
  - ・ UD：620 Gal
- が記録されている。

出典：「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析に係る報告（第一報）」（H19.7.30）東京電力

表-3.3.2 主な電気設備の被害状況

	主変圧器	所内変圧器(A)	所内変圧器(B)	励磁変圧器	低起動変圧器(A)	低起動変圧器(B)
1号機	放圧装置動作による油漏れ	基礎ボルトの折損(4本) 変圧器の滑動 放圧装置動作による油漏れ	放圧装置動作による油漏れ	基礎ボルトの折損(4本) 変圧器の滑動(約150mm) 碍管破損による油漏れ	—	—
2号機	基礎ボルトの折損(16本) 変圧器の滑動(約150mm) 巻線固定絶縁物の損傷 油配管接合部亀裂による油漏れ	基礎ボルトの変形 放圧装置動作による油漏れ	基礎ボルトの変形 放圧装置動作による油漏れ	—		
3号機	基礎ボルトの折損(16本) 放圧装置動作による油漏れ	放圧装置動作による油漏れ	基礎ボルトの変形 碍管破損による油漏れ 接続ダクト部の火災	基礎ボルトの折損(4本) 変圧器の滑動(約150mm)	—	放圧装置検出器箱より油漏れ
4号機	巻線のズレ 放圧装置動作による油漏れ	—	—	—		
5号機	巻線のズレ 放圧装置動作による油漏れ	—	—	—	—	—
6号機	放圧装置動作による油漏れ	—	—		—	放圧装置動作による油漏れ
7号機	放圧装置動作による油漏れ	—	—			

(注) 放圧装置動作による油漏れは総量で200kL程度と推定される

### 3. 3. 2 電気設備の被害概要

(1) 3号機所内変圧器(3B)の火災発生について〔不適合グレードAs区分〕

#### ① 被害の概要

同発電所の電気設備は、発電機1台・主変圧器1台・所内変圧器2台・励磁変圧器1台を基本構成(ユニット)とし、合計7ユニットで構成されている。今回、火災発生した3号機所内変圧器(3B)は、発電所構内で使用する電気(所内電力用)を供給するもので全14台設置されているうちの1台である。

7/16 10:15頃 地震動により、3号所内変圧器本体(杭基礎構造)と二次側接続ダクト(直接基礎構造)に約16~17cmの不等沈下が起こり、ダクトが落下したため上段・下段あわせて8本のブッシング(碍管)が破損した。

このブッシングは、変圧器本体の絶縁油を隔離する機能も有しており、破損により変圧器本体の絶縁油が漏れ出した。ほぼ同時にダクトと接続端子が接触し3相地絡・短絡を引き起こし、大電流のアーク放電(火花)が漏れ出た絶縁油に引火して火災が発生した。このことはダクト部のアーク痕跡、漏油状況などの記録、また変圧器本体側に異常が確認されなかったこと、発電機のトリップリレー動作後約1.6秒に短絡が記録されていることなどから分かる。

また地震により消火配管などが損壊したため適切な消火活動ができなかったが(12:10)消防署により鎮火確認)、防火壁を設置していたため隣接設置されているもう1台の所内変圧器(3A)、主変圧器などの他設備の被害はなかった。

なお、本事象は電気事故報告規則第3条第1項第3号に基づく報告対象である。

<参考>・絶縁油 7種4号(JIS C 2320):引火点 130℃以上、発火点 250℃以上(参考)

・変圧器本体の総油量:17,200ℓ



写真-3.3.1 3号機所内変圧器(3B)被災状況  
(東京電力㈱提供)



写真-3.3.2 3号機所内変圧器(3B)ダクト落下状況  
(東京電力㈱提供)

## ② 復旧状況の確認

3号機所内変圧器(3B)は、製作メーカーの工場で本体内部詳細点検を行うため、平成19年9月20日に現地から搬出済みである。具体的な対策は検討中であるが、この変圧器は火災時の熱的影響を受けていることが予想されるため修理は難しく、新しい変圧器に取替えの方向である。

## ③ 今後の対応方針

発生原因が変圧器基礎と接続ダクト部基礎の不等沈下に起因していることから、当該設備以外の変圧器についても適切な地盤沈下対策を行うことが必要である。

具体的には、杭基礎化、変圧器本体基礎と接続ダクト部基礎の一体化などについて、各々の基礎構造・地盤状況など詳細調査結果を踏まえた対策を行う必要がある。

なお、電気設備は原子炉の安全機能には直接影響しないが、原子力発電所システムの機能(原子力を利用して発電し電気を送る)を確保するため、電気設備についても設計・施工面で細かに配慮すべきである。

## (2) 変圧器基礎ボルトの折損・変圧器の滑動

### ① 被害の概要

電気設備は「変電所等における電気設備の耐震設計指針(JEAG-5003)」に基づき設計されており、規定している設計地震力(0.5G)を大きく上回る地震力が加わったことにより基礎ボルトが折損した。

大型の主変圧器では2号機と3号機の基礎ボルトが折損したが、比較的大きな地震力が加わったとされる1~3号機の小型の所内変圧器や励磁変圧器では全9台のうち3台が折損、3台に基礎ボルトの変形があった。

なお、阪神・淡路大震災時に基礎ボルトと基礎ベース間に防振ゴムなどによりギャップがあると、大きな曲げモーメントが作用し基礎ボルトが破断することが知見として得られているが、今回基礎ボルトが折損した変圧器は、基礎ボルトと基礎ベース間にギャップはなく密着構造であった。

## ② 復旧状況の確認

現地から搬出済みの6,7号機と3号機所内変圧器を除き、詳細工程を調整中である。

## ③ 今後の対応方針

阪神・淡路大震災で得られた知見を参考に、基礎ボルトと基礎ベース間のギャップの有無を全数台について再確認し、必要に応じて密着構造とするかまたはアンカーソケット部を嵩上げし防振ゴムとの協調をとるなどの対策が必要である。



写真-3.3.3 基礎ボルト折損による変圧器の滑動  
(東京電力㈱提供)

また、1～3号機の変圧器（所内変圧器3B以外）については、基礎ボルトに高強度材を適用することや、ベース部を溶接構造に変更することを検討しているが、基礎とベースを剛体構造にした場合は、変圧器本体内の巻線など構造体に影響がでることも懸念されるので注意が必要である。なお1号機主変圧器は阪神・淡路大震災の知見から高強度材の基礎ボルトに取替えられていた。

### （3） 放圧装置動作による油漏れ

#### ① 被害の概要

放圧装置は、万一変圧器本体の内部圧力が急激に上昇した場合、本体タンクが損傷しないように絶縁油を放出し内部圧力を低下させるために設置している。また放出された絶縁油を飛散させないで防油堤内に留めるために放油管を設けている。

地震動により、変圧器本体が揺れると本体内部の絶縁油が大きく揺れ、絶縁油が放圧装置を不要動作させ放油管を通じて本体外部に油漏れが発生する。

この現象は不要動作ではあるが、今回事象の課題は、防油堤自身が損傷を受け放出された絶縁油が損傷部位から土壌へ浸透したことである。

<参考>変圧器下の土壌に絶縁油が浸透したエリアでは、ボーリングにより土壌資料分析、地下水資料分析を行い、絶縁油漏えい範囲の特定を行い、環境への影響を最小にするための拡散防止対策工事や土壌回収工事が進められている。



写真-3.3.4 1号機励磁変圧器  
(東京電力提供)



写真-3.3.5 低起動変圧器(6SB)  
(東京電力提供)

#### ② 復旧状況の確認

応急処置としてサブドレン排水（地下水の排水ポンプ）への油分分離槽の設置や、暫定対策として地中遮水壁による汚染土壌の囲いこみなどの対策がされていた。

#### ③ 今後の対応方針

絶縁油の漏えい量に応じて、応急対策や暫定対策の内容を適切に組み合わせた対策も必要であるが、現地状況に応じて、防油堤自身の損傷を防止する方法（杭基礎化）や、漏えいした絶縁油を土壌に浸透させない方法（防油シート敷設）も重要である。なお絶縁油が浸透し汚染された土壌は必要に応じて回収する必要がある。

(4) 主変圧器の巻線・絶縁物のズレ (発電所での内部点検で判明)

① 被害の概要

発電所における調査で、外観点検 (外観目視点検、電気試験) と内部点検 (絶縁油を抜き取り、変圧器内部の目視点検) を行った結果、巻線の変位 (ズレ) と固定絶縁物の損傷が発見された。これは絶縁物が寸法収縮する「枯れ」と呼ばれる現象により巻線締め付け力が低下し地震動によりズレが発生したものと推定される。なお東京電力では「枯れ」の現象解明や経年劣化との関係について研究を開始する予定である。

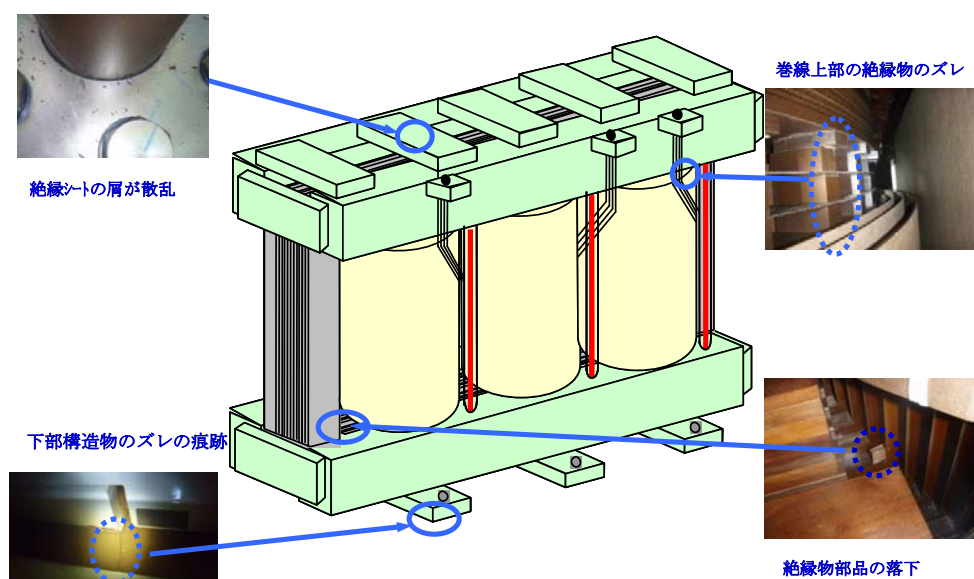


図-3.3.1 2号主変圧器の現地内部点検結果 (H19/11/27~11/28 実施) (東京電力(株)提供)

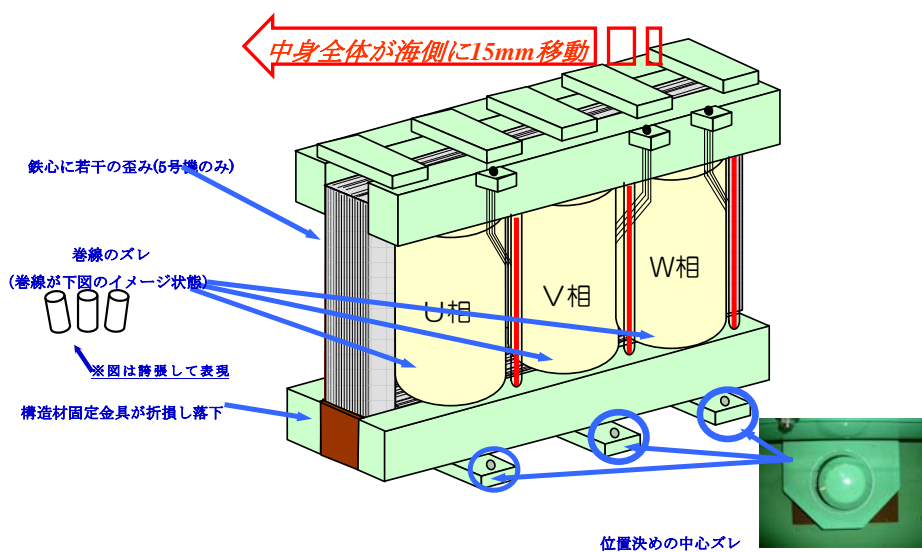


図-3.3.2 4,5号主変圧器現地内部点検結果 (H19/11/27~11/29 実施) (東京電力(株)提供)

② 復旧状況の確認

主変圧器は、平成 19 年 12 月までに発電所における内部点検を完了し、電気試験の結果は全て「良」であることを確認している。

6、7号機の主変圧器は、平成 19 年 10 月にメーカー工場に搬出し詳細点検を実施し巻線・鉄心などに損傷のないことを確認済みであるが、搬入・設置時期を検討中である。

③ 今後の対応方針

発電所における主変圧器の内部点検では確認できない場合や調査・強度評価で十分な健全性が確認できない場合は、メーカーの工場にて巻線を吊り上げ分解し詳細点検と組み立て後の電気試験を計画している。

表-3.3.3 主変圧器の点検スケジュール (東京電力<sup>(株)</sup>提供)

◆：内部点検

	平成19年		平成20年					
	9月	12月	3月	6月	9月			
1号機		◆	工場搬出時期調整中					
2号機		◆						
3号機		◆						
4号機		◆						
5号機		◆						
6号機		◆	出港	工場詳細点検	入港	据付復旧		
7号機		◆	出港	工場詳細点検	入港	据付復旧		

- ・ 1～5号機についてはメーカー工場含めて点検時期と復旧方策を検討中。  
 今後、以下の要因も加味し詳細復旧工程を立案する。
  - －変圧器損傷に伴う修理可否判断(含部品レベル)または新規製作する場合の期間
  - －変圧器エリア土壌に漏えいした絶縁油の回収作業期間
- ・ 6,7号機については工場点検後の復旧工程の詳細を検討中。

### 3. 3. 3 その他軽微な事象

軽微な事象として、変圧器本体とクーラー母管接続部分の不等変位による油漏れ、GIS とコンプレッサー間の空気配管用ピットが不等沈下による接続部からのエアリーク、GIS ブッシング頭部（500kV 南新潟幹線 2L 黒相）からの油漏れなどが発生したが、いずれも通常保守の範囲であり対策が行われていた。

また、事務本館常用電源が停止し、緊急時対策室電源は非常用電源から自動的に供給され、また外部からの商用電源も正常に確保された。

なお、非常用ディーゼル発電機は、今回は起動することなく電源確保されたが、その後全数台の点検を行い異常のないことを確認していた。