

米国原子力発電所における変圧器不具合の傾向分析

Trend Analyses of Transformer Problems in the U.S. Nuclear Power Plants

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)*

要約 2007年までに筆者らは、原子力発電所の電気機器のうち、不具合発生頻度の高い主発電機、非常用ディーゼル発電機、遮断器、およびモータの不具合の傾向分析を実施してきた。国内原子力発電所の変圧器の不具合発生件数は、米国の一般公開情報件数の1/3程度であるが、今後、運転期間延長、または保守方法が予防保全から状態監視保全に変更された場合には、保守の状況が米国と類似してくることから、国内の変圧器の不具合発生頻度が上昇することが懸念される。そこで、不具合発生頻度の高い電気機器のうち、傾向分析が未実施の変圧器について傾向分析を実施した。本分析では、原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）の原子力情報データベースに登録されているLER（米国の原子力発電所が、NRCに提出する事象報告書）のうち2003年から2007年の5年間に米国の原子力発電所で発生した変圧器の不具合事象（23件）およびニューシア（原子力施設情報公開ライブラリー）に登録されている2003年から2007年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象（8件）について傾向分析を実施した。米国の変圧器の不具合傾向から得られた教訓として、変圧器全体については、タップ切換え装置の保守管理、発生頻度の最も高い主変圧器については、絶縁物/絶縁油の絶縁劣化管理を怠らないことが重要である。

キーワード 変圧器、不具合、傾向分析、原子力発電所、保守、電気機器

Abstract Up to 2007, the authors have conducted the trend analyses of trouble events related to main generators, emergency diesel generators, breakers and motors, which are more likely to cause problems than other electric equipments in nuclear power plants. The frequency of trouble events in transformers in domestic nuclear power plants at present is approximately one third of the publicly reported cases in the U.S. However, as the situation of maintenance in Japan in the future will become similar to those in the U.S. if the operating period is extended or the maintenance method is to be shifted from preventive maintenance to condition based maintenance, there is a concern that the frequency of transformer events in Japan will increase in Japan, also. Thus, trend analyses were conducted on transformer events which had not been subject to such analyses, from among electrical equipments which are likely to cause problems. The trend analyses were performed on 23 transformer events which had occurred in the U.S. nuclear power plants in five years from 2003 through 2007 among events reported in the Licensee Event Reports (LERs: event reports submitted to NRC by U.S. nuclear power plants) which have been registered in the nuclear information database of the Institute of Nuclear Safety System, Incorporated's (INSS), as well as 8 events registered in the Nuclear Information Archives (NUCIA), which had occurred in domestic nuclear power plants in five years from 2003 through 2007. Lessons learned from the trend analyses of the transformer trouble events in the U.S. revealed that for transformers in general, the maintenance management of tap changers is important, while for the main transformers which are most likely to cause problems, it is vital to prevent the deterioration of insulation and insulating oil.

Keywords transformers, troubles, trend analyses, nuclear power plants, maintenance, electrical equipment

1. 緒言

現在世界で約430基の原子力発電所が稼動し電力を生産しており、その総運転経験は12,000基・年を超えている。こうした運転経験に関する諸データは貴重な資料として将来に生かされるが、そこで発生

する各種の不具合（事故、トラブルなど一切）の情報も、同種の不具合はもちろん、より大きなトラブルや事故の発生の防止に役立ち、安全性の向上に資するとともに、信頼性の向上にも結びつく。こうした観点から、経済産業省資源エネルギー庁に設置されている総合資源エネルギー調査会原子力安全・保

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

安部会「検査の在り方に関する検討会」でも、その「中間とりまとめ⁽¹⁾」において、「災害防止上支障のない軽微なトラブルやトラブルに至らない運転管理上の情報を事業者の組織内あるいは産業界で共有し、活用することは、より大きなトラブルの予兆を察知し、これを防止する上で重要である。」としている。INSS 技術システム研究所は、1995 年頃からその重要性を認識し、個々の事象分析から改善点を抽出すること、および不具合の発生傾向の分析から改善点を抽出する活動を継続している。

2007 年までに筆者らは、電気機器のうち不具合発生頻度の高い主発電機、非常用ディーゼル発電機、遮断器、およびモータの不具合の傾向分析^{(2)~(5)}を実施した。本報告は、米国において不具合発生頻度の高い電気機器のうち傾向分析が未実施であった変圧器について傾向分析を実施した結果である。国内

原子力発電所の変圧器の不具合発生件数は米国の一般公開情報件数の 1/3 程度であるが、今後、運転期間延長、または保守方法が予防保全から状態監視保全に変更された場合には、保守の状況が米国と類似してくることから、国内の不具合発生頻度が上昇することが懸念される。

本分析では、INSS の原子力情報データベースに登録されている LER⁽⁶⁾⁽⁷⁾（米国の原子力発電所が、NRC に提出する事象報告書）のうち 2003 年から 2007 年の 5 年間に米国の原子力発電所で発生した変圧器の不具合事象（23 件）およびニューシア⁽⁸⁾⁽⁹⁾に登録されている 2003 年から 2007 年の 5 年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象（8 件）について傾向分析を実施した。

表 1 ニューシアに登録されている 2003 年から 2007 年の 5 年間に国内の原子力発電所で発生した変圧器不具合事象

発生年月日	ユニット名	件名	設備名	系統名	装置名	標準装置名	機器名	部品名	原因大分類	原因小分類	発電所への影響
2006 年 5 月 30 日	福島第二 2 号	主変圧器の監視強化について	電気設備	送受電系	変圧器装置	主変圧器	主変圧器	変圧器	-	-	無し
2006 年 5 月 15 日	福島第二 4 号	相分離母線ダクト部からの油滴下に伴う原子炉手動停止について	電気設備	送受電系	変圧器装置	主変圧器	主変圧器	変圧器	保守不備	自然劣化	手動停止
2004 年 7 月 24 日	高浜 2 号	主変圧器負荷時タップ切替器取り替え作業（予防保全）のための発電停止について	電気設備	送受電系	変圧器装置	主変圧器	主変圧器	タップ・切替装置	設備不備	-	手動停止
2004 年 4 月 28 日	福島第一 3 号	主変圧器内部の監視強化について	電気設備	送受電系	変圧器装置	主変圧器	主変圧器	変圧器	設備不備	製作不完全	手動停止
2007 年 7 月 16 日	柏崎刈羽 3 号	【新潟県中越沖地震】3 号機における所内変圧器 3B の新潟県中越沖地震の影響で発生した火災について	電気設備	送受電系	変圧器装置	所内変圧器	所内変圧器	-	自然現象	地震	無し
2006 年 6 月 30 日	大飯 3,4 号	予備変圧器の油中ガス濃度の上昇について	電気設備	送受電系	-	-	予備（非常用）変圧器	巻線（コイル）絶縁物（絶縁油含む）	その他	その他	無し
2004 年 11 月 19 日	高浜 3 号	起動変圧器 6.6kV 側地絡について	電気設備	AC 所内電源系	-	-	起動変圧器	ラダーケーブル（動力母線）バスダクト変流器盤	保守不備	保守不完全	無し
2007 年 1 月 30 日	東通 1 号	東通原子力発電所 1 号機における火災について	電気設備	AC 所内電源系	その他	その他	その他または不明の変圧器	-	故意・過失	作業者の過失	無し

注：表の分類方法はニューシアによる。

2. 分析結果

2.1 国内の変圧器分析結果

国内については、表1にニューシアに登録されている2003年から2007年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象8件を示す。炉型については、PWRとBWRでそれぞれ3件、5件発生しており、差異はみられない。主変圧器は4件発生しており、他の変圧器より件数が多い。原因については、「保守不備」と「設備不備」がそれぞれ2件発生している。「発電所影響無し」および手動停止「発電所影響あり」がそれぞれ4件と3件発生している。

なお、「発電所影響あり」は、出力低下、出力抑制、停止期間延長、出力上昇、原子炉自動トリップ、原子炉手動トリップ、原子炉手動停止、安全関連機能影響、火災が発生したもの、「発電所影響なし」はそれ以外である。

2.2 米国の変圧器分析結果

図1は米国原子力発電所の変圧器種類毎の不具合発生頻度を示す。国内と同様、主変圧器の不具合発生頻度が他の変圧器より高い。その原因は、常時定格出力付近で運転し、温度が高いことから絶縁物の劣化が早いことが推測される。図2以降、変圧器の不具合に着目して詳細分析した。さらに、図1以降

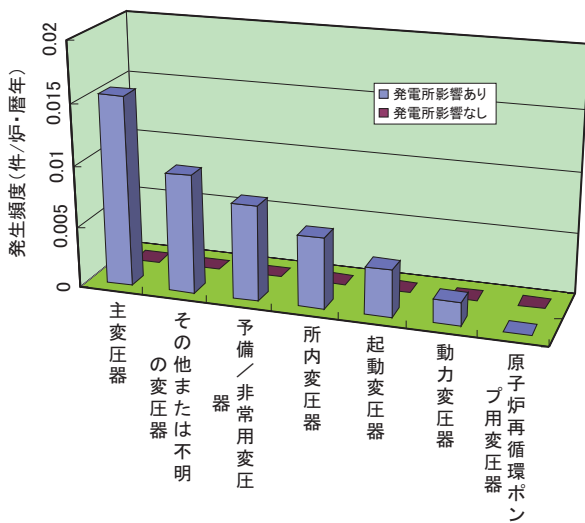


図1 米国原子力発電所の変圧器種類毎の不具合発生頻度

の「発電所影響なし」は、全て発生頻度0件/炉年であった。

図2は米国原子力発電所の部品毎の変圧器不具合発生頻度を示す。タップ切替え装置、絶縁物（絶縁油）で不具合発生頻度が高い。

図3は米国原子力発電所の変圧器不具合原因毎の不具合発生頻度を示す。保守不良-保守人的過誤、保守不良-保守計画不良が高い。

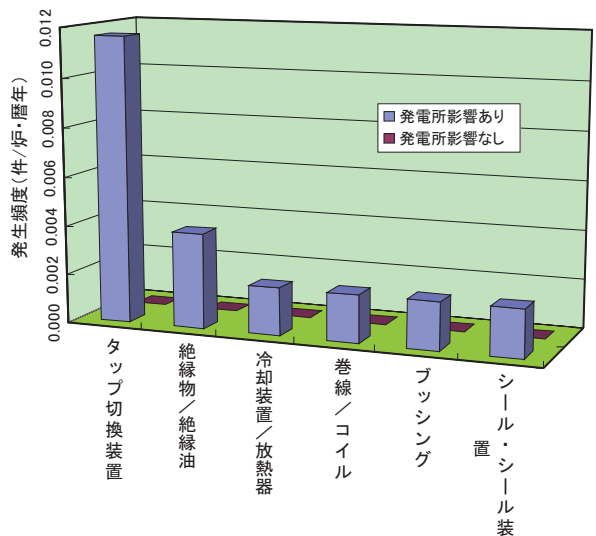


図2 米国原子力発電所の変圧器の部品毎の不具合発生頻度

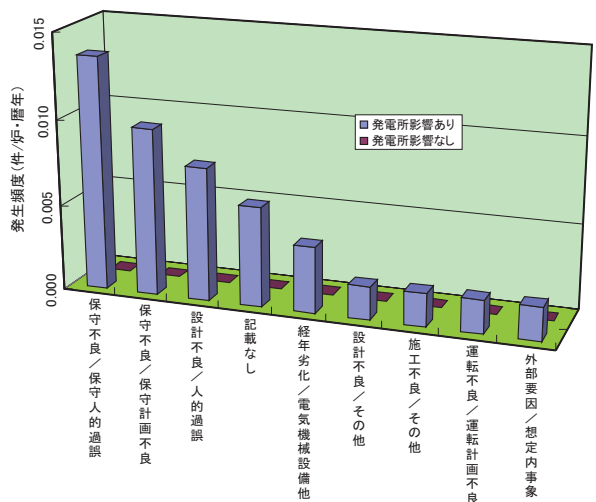


図3 米国原子力発電所の変圧器不具合原因毎の発生頻度

図4は米国原子力発電所の変圧器不具合対策毎の発生頻度を示す。設計仕様変更，マニュアル整備，部品交換，機器交換，点検・検査，修理・加工の不具合発生頻度が高い。

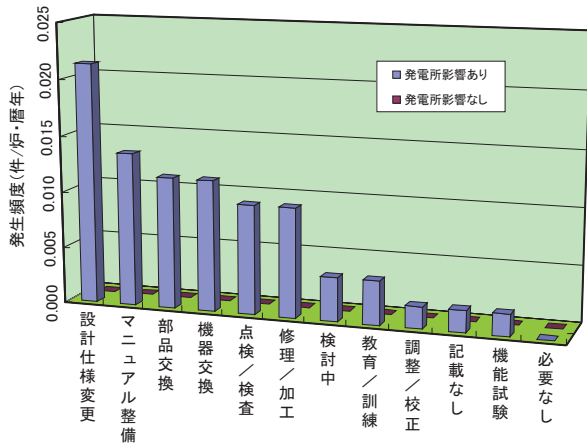


図4 米国原子力発電所の変圧器不具合対策毎の発生頻度

2.3 米国の主変圧器分析結果

図5は米国原子力発電所の変圧器不具合の中で発生頻度の高い，主変圧器の部品毎の発生頻度を示す。絶縁物（絶縁油），冷却装置（放熱器），ブッシングの不具合発生頻度が高い。絶縁物（絶縁油）の不具合発生頻度高い原因は，常時定格出力付近で運転し，温度が高いことから絶縁物の劣化が早いと推測され

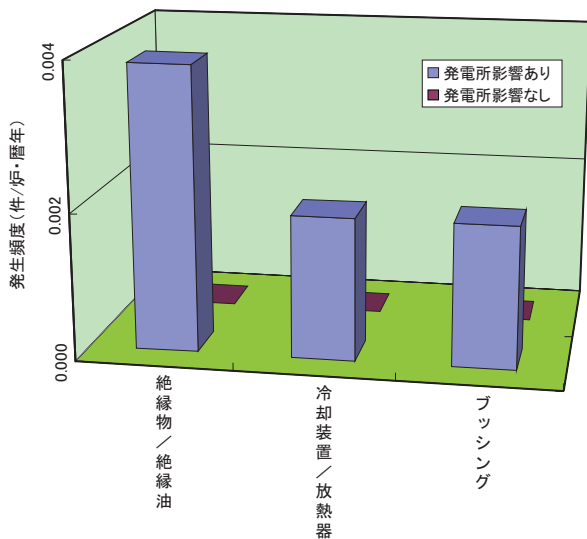


図5 米国原子力発電所の主変圧器の部品毎の不具合発生頻度

る。

図6は米国原子力発電所の主変圧器の不具合原因毎の不具合発生頻度を示す。保守不良－保守計画不良，保守不良－保守人的過誤，経年劣化－電気機械設備他，運転不良－運転計画不良の発生頻度が特に高い。

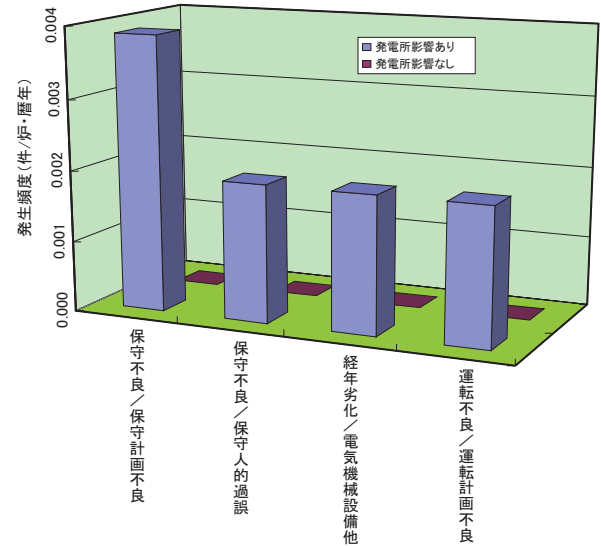


図6 米国原子力発電所の主変圧器不具合原因毎の発生頻度

図7は米国原子力発電所の主変圧器の不具合対策毎の不具合発生頻度を示す。点検・検査，機器交換，部品交換，設計仕様変更，マニュアル整備の不具合発生頻度が高い。

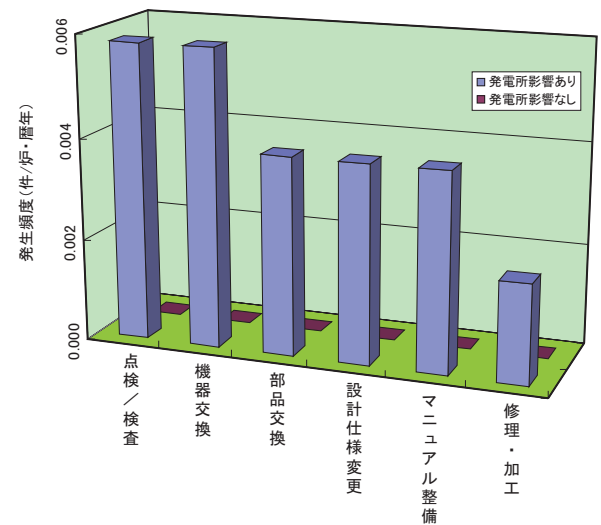


図7 米国原子力発電所の主変圧器不具合対策毎の発生頻度

3. 結論

- (1)国内原子力発電所の変圧器について、炉型については、PWRとBWRでそれぞれ3件、5件発生しており、差異はみられない。主変圧器は4件発生しており、他の変圧器より件数が多い。発電所への影響は、無しおよび手動停止がそれぞれ4件と3件発生している。
- (2)米国原子力発電所の一般公開されている変圧器の不具合は、全て発電所影響ありであり、発電所影響無しは無かった。
- (3)米国原子力発電所の変圧器種類毎の不具合発生頻度を分析した結果、国内と同様、主変圧器の不具合発生頻度が、他の変圧器より高い。
- (4)米国原子力発電所の部品毎の変圧器不具合発生頻度を分析した結果、タップ切替え装置、絶縁物（絶縁油）で不具合発生頻度が高い。
- (5)米国原子力発電所の変圧器不具合原因毎の不具合発生頻度を分析した結果、保守不良－保守人的過誤、保守不良－保守計画不良が高い。
- (6)米国原子力発電所の変圧器不具合対策毎の発生頻度を分析した結果、設計仕様変更、マニュアル整備、部品交換、機器交換、点検・検査、修理・加工の不具合発生頻度が高い。
- (7)米国原子力発電所の主変圧器の部品毎の発生頻度を分析した結果、絶縁物（絶縁油）、冷却装置（放熱器）、ブッシングの不具合発生頻度が高い。
- (8)米国原子力発電所の主変圧器の不具合原因毎の不具合発生頻度を分析した結果、保守不良－保守計画不良、保守不良－保守人的過誤、経年劣化－電気機械設備他、運転不良－運転計画不良の発生頻度が特に高い。
- (9)米国原子力発電所の主変圧器の不具合対策毎の不具合発生頻度を分析した結果、点検・検査、機器交換、部品交換、設計仕様変更、マニュアル整備の不具合発生頻度が高い。

以上の米国の変圧器の不具合傾向から得られた教訓として、変圧器全体については、タップ切替え装置の保守管理、発生頻度の最も高い主変圧器については、絶縁物/絶縁油の絶縁劣化管理を怠らないことが重要である。

文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会、「検査の在り方に関する検討会中間とりまとめ」(2002)。
- (2) 嶋田 善夫, 「信頼性ブロック図による発電機の不具合事象分析」, INSS JOURNAL, Vol.13, P.281 (2006)。
- (3) 島田 宏樹, 「米国の原子力発電所における遮断器不具合事象の傾向分析」, INSS JOURNAL, Vol.13, P.286 (2006)。
- (4) 嶋田 善夫, 「信頼性ブロックダイアグラムと原子力発電所非常用ディーゼル発電機運転経験情報のハイパーリンクによるデータベース構築」, INSS JOURNAL, Vol.10, P.93 (2003)。
- (5) 嶋田 善夫, 「米国原子力発電所におけるモータ不具合の傾向分析」, INSS JOURNAL, Vol.15, P.287 (2008)。
- (6) NRC, “Licensee Event Report System”, 10CFR 50.73 (2000)。
- (7) NEC, “Event Report Guidelines 10CFR 50.72 and 50.73”, NUREG-1022, Rev.2 (2000)。
- (8) 日本原子力技術協会, 「原子力施設情報公開ライブラリー「ニューシア」運用手引き」(2006)。
- (9) ニューシア (原子力施設情報公開ライブラリー), <http://www.nucia.jp/>。