

特高用変圧器の寿命延伸の検討



渋沢 剛^{*1}

Consideration of extending the life of extra-high-voltage transformers

Tsuyoshi SHIBUSAWA^{*1}

^{*1} Assistant Chief Researcher, Electric Power Technology Maintenance Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

To find out what determines the lifespan of extra-high-voltage transformers, we conducted accelerated deterioration tests and lightning impulse withstand voltage tests. Accelerated aging tests showed that the lifespan of the transformer under test was more than 450 years. In the lightning impulse withstand voltage test, dielectric breakdown occurred. It was found that gas analysis in oil and partial discharge measurement were effective ways to know this.

●**Keywords:** Traction substation, Transformer, Accelerated aging test, Lightning impulse withstand test, Partial discharge

^{*1}JR東日本研究開発センター 電力技術メンテナンスユニット 副主幹研究員

1. 緒言

当社では、電車へ電気を供給するため、沿線上に一定間隔で運転用変電所（以下、変電所）を設置している。変電所には、電気を電車が走行できる状態に変換するための変圧器、整流器、遮断器や断路器といった機器が設備されているが、これらを故障する直前まで使い続けることができれば経済的な側面から有利である。

特別高圧用変圧器（以下、特高用変圧器）は変電所を構成する主要機器であり、電圧変換という重要な役割を担っているため、故障は即、輸送影響につながる。一方で特高用変圧器は大型で受注生産となり、設計から納品までの期間は年単位となる。そのため故障直前まで使用するには、その故障が発生する時期を正確に予測したうえで取替計画を策定することが必要となってくる。

特高用変圧器の付属品である保護継電器や冷却ポンプなどは、故障しても代替品に交換することで変圧器自体は使用の継続が可能であるのに対し、変圧器本体内部のコイル絶縁紙は劣化しても交換が非常に難しいため、これまではコイル絶縁紙の推定寿命30年程度を変圧器の寿命として取替計画を策定してきた。

本論文では、変電所から撤去された供試体（特高用変圧器）を加速劣化させ、コイル絶縁紙の劣化状況を把握する取り組みと、併せてその変圧器に故障の外的要因と想定される雷を想定した電圧印加試験の内容について紹介する。

2. 特高用変圧器の取替基準

当社の特高用変圧器は、地下などの一部の特殊箇所を除いてほとんどが絶縁油を使用する油入変圧器を採用している。

油入変圧器の取替基準として、以前は経年30年を目途に取替を計画するTBM手法を採用していたが、老朽取替にて撤去した特高用変圧器の内部解体調査や本論文でも紹介する加速劣化試験で得られた知見に基づき、現在ではCBM手法に移行している。具体的には、経年30年で電気設備保全標準による新たなメンテナンスフロー（以下メンテナンスフロー）に移行したうえで、油中ガス分析や余寿命診断（フルフラール分析等）において異常が無ければ特高用変圧器は使い続けることができるというものとなっている。

3. 加速劣化試験

3・1 試験設備の構築

推定寿命に対して実際には何年で寿命に達するのかを検証するため、コイル絶縁紙の劣化を人工的に促進させる加速劣化試験を行った。

研究開発センター内の大電流試験棟内に温度上昇により特高用変圧器の劣化を促進させることが出来る加速劣化試験装置を構築した。この装置は10℃温度を上げると寿命が半減するアレニウスの法則の10℃半減則を利用したものであり、装置の構成を図1に示す。加速劣化試験装置は、既存の短絡試験用の試験回路に遮断器を追加して分岐する形で構成し、電圧調整器により供試体変圧器に流れる電流を任意に調整できるようにした。

また、試験に使用する特高用変圧器は、実際に変電所で約27年運用していた特高用変圧器の撤去品を使用した。供試体変圧器の写真を図2に、主な諸元を表1に示す。

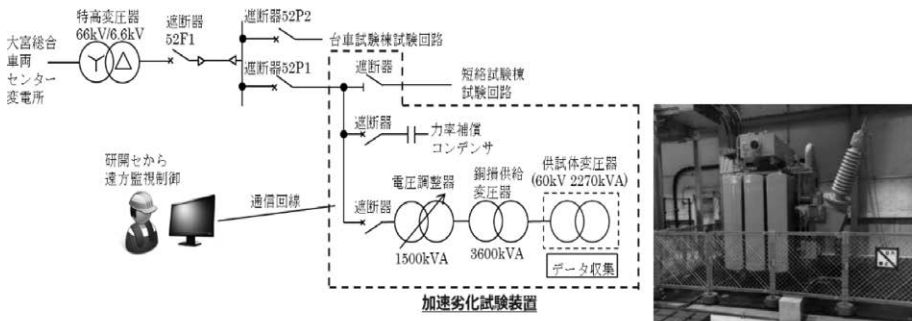


図1 加速劣化試験装置の構成図



図2 供試体変圧器の写真

表1 供試体変圧器の諸元

用途	整流器用変圧器
一次電圧	F66 -F63-R60-F57kV
二次電圧	1.2 kV
周波数	50 Hz
容量	2270 kVA
結線	Y - Δ
製造年月	1991年9月

3・2 試験結果

コイル絶縁紙の劣化の進行状況は、メンテナンスフローで採用している余寿命診断の値により評価することとした。分析により得たCO+CO₂量とフルフラール量の時系列データを図3に示す。これら2つの指標は、絶縁紙の劣化度合い(平均重合度)を表すもので、絶縁紙が劣化し変圧器内部の絶縁油中に溶け出すとその値が大きくなるものである。

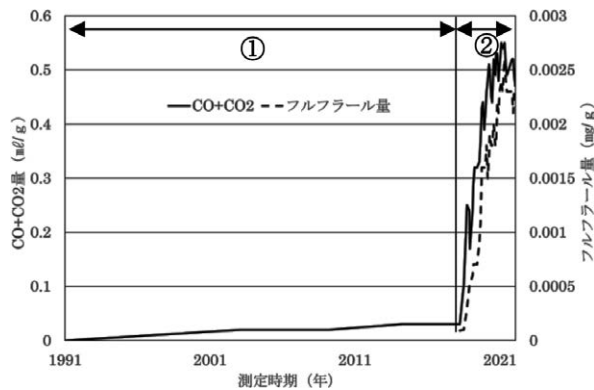


図3 供試体変圧器の余寿命診断結果

図3で示した時系列データにおいて、①の期間(約27年)は実際に変電所で運用していた期間に溶出したCO+CO₂量とフルフラール量であり、②の期間は3年間の加速劣化試験を行った期間である。

今回、特高用変圧器の現地運用の450年分に相当する加速劣化を行った。(当初、故障するまで試験を継続する予定であったが、相当の加速劣化を行っても故障に至らなかったことから、この段階で試験は終了とした。)

この結果から、当社の変電所の特高用変圧器は、機器の容量に対する使用量が小さく、劣化進行が遅いということが推測される。理由としては、電鉄の負荷形態の特徴である電車が加速して通過する時のみ電力を送る使い方となるため、工場等の需要家のような一定負荷での使用と比して変圧器内部の加熱による劣化はかなり小さいと考えられる。

以上より、当社の変電所において特高用変圧器の絶縁紙は通常の使用ではほとんど劣化しないという結論となった。なお、コイル絶縁紙については、最終的に供試体の特高用変圧器を解体した際に実物の平均重合度のデータを取得し、絶縁油の分析結果との相関は良好であることを確認した。

4. 雷インパルス耐電圧試験

4・1 外的要因の可能性

運用されている特高用変圧器の中には、経年によらず原因不明で故障するものも存在することから、雷などの外的要因による故障の可能性を探る取組みも行った。

今回は、コイル絶縁紙の劣化が外的要因に対する耐久性にどのような影響があるのかを確認するため、特高用変圧器の工場出荷時の規格として定められている雷インパルス耐電圧試験を実施して、絶縁性能や故障直前の現象といわれている部分放電現象の測定、余寿命診断と油中ガス分析による絶縁紙の劣化度診断を行った。

4・2 雷インパルス耐電圧試験

供試体は、加速劣化試験後の特高用変圧器を使用し、試験は供試体変圧器をメーカ工場に持ち込んで実施した。

劣化した変圧器がどれくらいの電圧まで耐えられるのかを確認するため、試験電圧については最初から新品に印加する電圧と同じ値とはせず、低減した値から徐々に複数回に分けて上げていく試験方法を採用した。雷インパルス耐電圧試験の試験回路イメージを図4に、試験電圧の考え方について表2に示す。なお、各電圧による試験の後、供試体の健全性確認を実施した(4.3参照)。

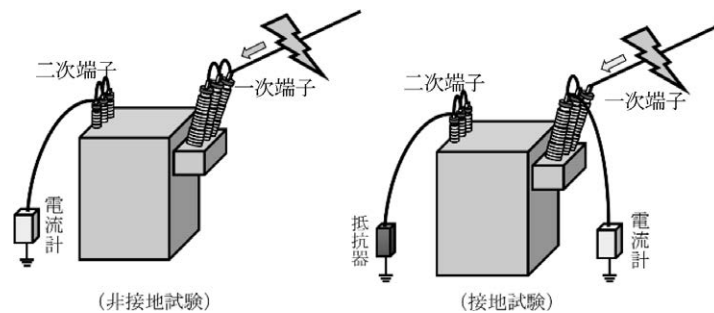


図4 雷インパルス耐電圧試験の試験回路イメージ

表2 雷インパルス耐電圧試験の試験電圧値一覧

印加部位	波形種別	試験電圧値 (kV)							
		基準値	1回目	2回目	3回目	4回目	5~6回目	7回目	8回目
一次側	全波	350	基準値 の60%	基準値 の70%	基準値 の75%	基準値 の90%	基準値	基準値 の110%	基準値 の130%
	裁断波	385							
二次側	全波	30							

最終的に8回目の試験である基準値の130%の試験電圧にて全波非接地試験を行った際に絶縁破壊が発生し、一次端子に印加した電圧が二次端子に移行し、接続した接地線に取り付けられた電流計で大電流を計測した。結果として基準値の試験電圧で絶縁破壊には至らなかったことから、コイル絶縁紙の劣化により変圧器の仕様上の性能が低下したものではないと判断した。

4・3 供試体変圧器の健全性確認

雷インパルス耐電圧試験の各電圧での試験実施後に供試体変圧器の絶縁性能の健全性を確認するため、同じく工場出荷時に実施している短時間交流耐電圧試験を行い、さらに部分放電測定を実施した。短時間交流耐電圧試験の試験電圧値の考え方を表3に示す。

表3 短時間交流耐電圧試験の試験電圧値一覧

印加部位	試験電圧値 (kV)						
	基準値	1回目	2回目	3回目	4回目	5~7回目	8回目
一次側~大地間	140	基準値	基準値	基準値	基準値	基準値	66
二次側~大地間	10	の60%	の70%	の75%	の90%		1.2

雷インパルス耐電圧試験とは異なり1分以上の電圧を印加するため、試験電圧は基準値までとした。なお、絶縁破壊発生後の8回目は、低電圧を印加して様子を見た後、使用電圧を印加した結果、健全性は良好という結果となった。なお、絶縁破壊後も含めてCO+CO₂量、フルフラール量ともに変化は見られなかったが、油中ガス分析については絶縁破壊を裏付けるアセチレンが検出された。

部分放電の測定では、無負荷にて供試体変圧器に定格電圧を印可し、接地線に高周波用計器用変流器を取り付け、接地線電流を測定し部分放電測定装置にて計測を行った。絶縁破壊後の測定波形を図5(横軸は位相[度]、縦軸は放電電荷量[pC])に示す。放電電荷量が周期性(基準電圧の瞬時変化率の一番大きい位相0°および180°付近)をもって多く検出されていることから、部分放電の発生を確認した。

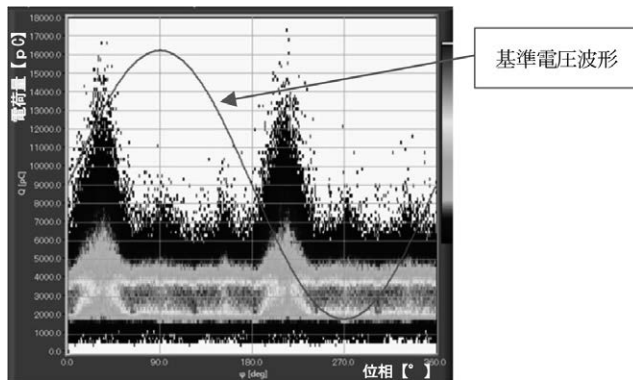


図5 部分放電の測定波形

5. 結言

上記試験等の結果から、特高用変圧器は、これまで30年を基準としていた取替周期を今回の結果等から30年以降のメンテナンスフローを制定し、機器状況を見ながら45年(場合によってはそれ以上)まで使用を可能とすることになった。

また、変圧器の内部劣化は雷インパルス耐電圧試験の結果からは変圧器の使用に影響がないことが判明した。変圧器の内部状況の把握方法として油中ガス分析に加え、部分放電測定の有効性を確認した。

参考文献

- 1) 平野太一、向井茂雄、加藤洋:「電鉄用変電所における特高用変圧器の劣化傾向の検討」,令和4年度電気学会産業応用部門大会, No5-41(2022)
- 2) 洪沢剛、平野太一、深野友紀、加藤洋:「電鉄用変電所における特高用変圧器の部分放電発生メカニズムに関する検討」,令和5年度電気学会産業応用部門大会, No5-83(2023)