

変圧器の寿命判定法

鉄道総合技術研究所
電力技術研究部(き電)



■ 変電所電力設備の保全状況

・電気学会による変圧器の劣化モデル検討例

電氣的影響	機械的影響	熱的影響	環境的影響
◎アークによる ガス発生 ◎部分放電 ◎雷電圧に よる放電 ◎ボイド(空隙)での 電界集中 ◎巻線の短絡故障	◎変形や位置 ずれ (短絡電流や 雷起因) ◎亀裂や剥離 (熱劣化)	◎熱で分解 ◎酸化 ◎熱応力	◎表面汚損に よる絶縁低下 ◎吸湿による 絶縁低下 ◎異物混入 ◎異物の脱落

・出典:電気学会、電力機器・設備の
絶縁診断技術、オーム社、2015

・変圧器の故障原因調査

→種々の要因(主に4つの影響)が挙げられる

・特に雷・短絡事故・地震等の際に劣化進展の可能性

・絶縁紙の長期的な劣化は、熱的な影響が支配的



■ 変電所電力設備の保全状況

・電気学会による設備取り替え周期の調査事例(鉄道)

鉄道会社名	受電用変圧器		配電用変圧器		シリコン整流器用変圧器	
	計画	実際	計画	実際	計画	実際
A	30Y(年)	30~35	30	30~35	30	28~36
B	30	32~38	30	30~35	30	31~41

・出典:平成21年電気学会全国大会5-S18-5

- ・製造メーカーの一般的な取り替え推奨は**30年**
- ・計画に対して実際の取り替え時期は数年遅れがち



Railway Technical Research Institute

3

■ 変電所電力設備の保全状況

・JEMA(日本電機工業会)による設備取り替え周期の調査事例

設備	目視点検	精密点検	診断・オーバーホール	推奨取り替え周期	ユーザーの期待寿命
GCB	1Y~3Y	6Y	15Y(年)	20Y	25.7Y
油入変圧器	1Y~3Y	6Y	20Y	25Y	27.6Y
GIS	1Y~3Y	6Y	20Y	25Y	28Y
デジタル保護リレー	1Y~3Y	6Y	12Y	15Y	18.2Y

・出典:JEMA webページ(2013/9)
<http://www.jema-net.or.jp/jema/data/2013substation.pdf>

- ・推奨寿命に対して期待寿命は数年長め



Railway Technical Research Institute

4

■ 変圧器の寿命判定法

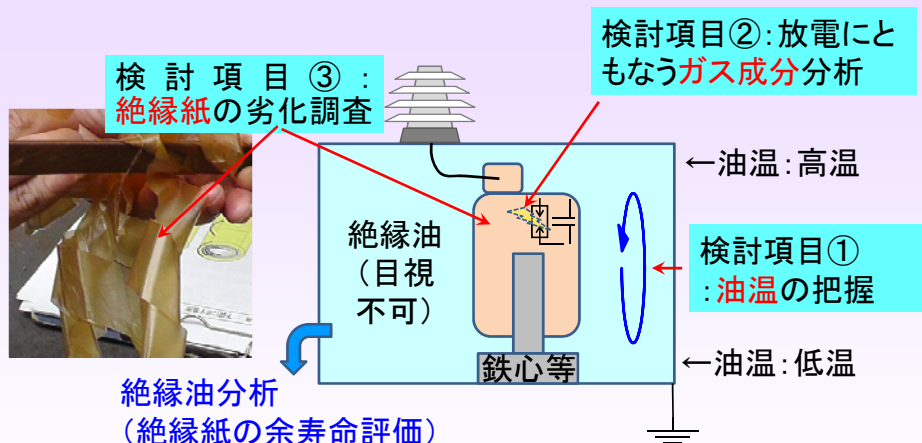
- ・ 取り替え周期平準化などの観点から**設備寿命延伸**の要求が高まっている
- ・ 上記を踏まえた変圧器用絶縁紙の**撤去品分析**、絶縁油分析による**絶縁紙健全度の推定**

■ 検討結果の概要

- ① 事業者データを収集し運用環境や劣化状況を調査
 - ・ 油入変圧器→最高油温は**60℃以下**（余裕有り）
 - ・ **高配用変圧器**の油中ガスは注意検体が多い
- ② 余寿命の評価方法の検討
 - ・ **絶縁紙余寿命評価**に適した劣化推定特性を提案
 - ・ 計68サンプルの絶縁紙劣化度を評価
→寿命レベルと同等かそれ以上の健全性を維持



■ 変圧器の構造と劣化モデル



- ・ 変圧器：経年や温度上昇・絶縁物の異常に伴い**健全度が低下**
→内部は密閉構造のため油温等から健全度推定



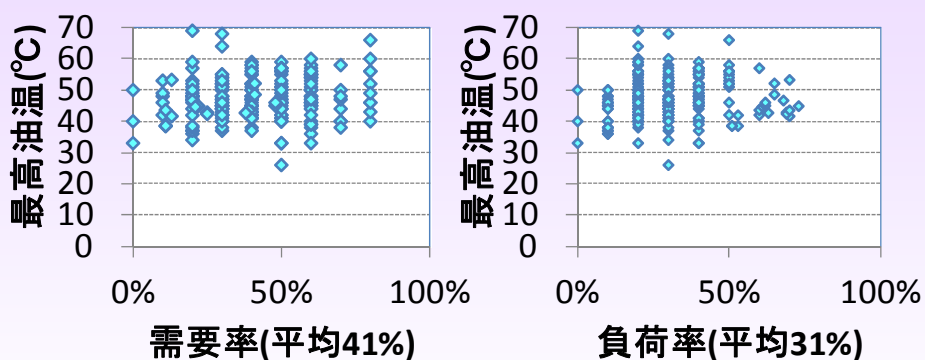
■ 調査対象の変圧器について

★下記鉄道事業者殿データを調査・統計処理

設備群	油温・ 負荷率データ	油中ガス分析 データ	フルフラール量 データ
整流器用変圧器	239	182	42
配電用変圧器	73	60	21
き電用変圧器等	13	20	6
所内用変圧器	—	6	—
油入整流器	—	16	—
合計(設備数量)	325台	284台	69台
調査の趣旨	温度上昇による 劣化把握	放電による 劣化把握	絶縁紙の 健全度把握



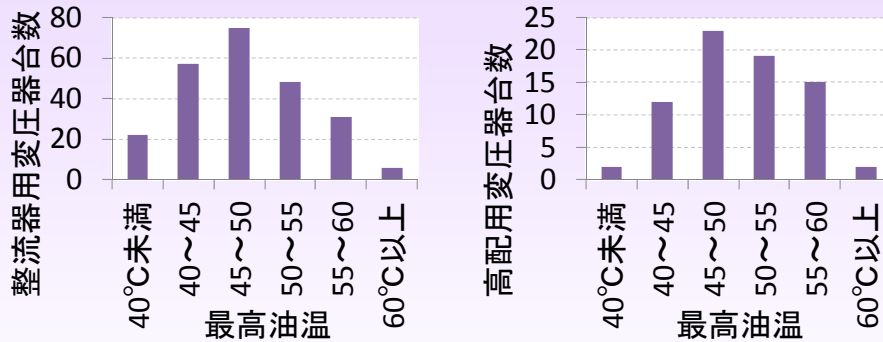
■ 検討項目① 整流器用変圧器における油温の傾向



- ・ 整流器用変圧器:統計分析(t分析手法)で検定
→夏期最高油温と必要率・負荷率との相関関係無し
- ・ 高配用変圧器も同様の特性



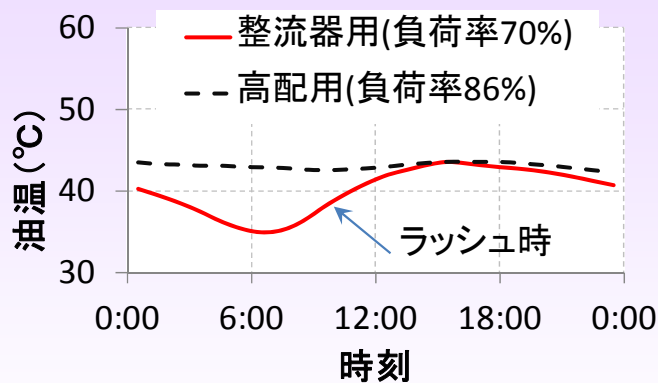
■ 検討項目① 変圧器における夏期最高油温の傾向



- ・ 整流器用変圧器と高配用変圧器の夏期最高油温
- JEC2200規格で定める油温の限度値(80°C)に対し、20°C以上の余裕有り(※高配用はやや温度高め)



■ 検討項目① 変圧器における油温の日負荷特性



- ・ 整流器用変圧器と高配用変圧器の違い
- 高配用は夜間に停止しない+負荷率が高い
- 高配用は油温の高い状態が維持され易い



■ 検討項目② 油中ガスデータの分析状況

・油中ガス分析周期の調査事例(鉄道会社・電力会社)

鉄道会社 保守区	A電力区	B電力区	C電力区	D電力区	E電力区
油中ガスの 分析周期	経年10年以上の 機器を対象に 5年おき	5年おき		5年おき (高経年:1年おき)	

電力会社	電力会社①		電力会社②		電力会社③	
適用箇所	154kV以上 の主要系統	それ以下 の系統	送電用	配電用	送電用	配電用
設定周期(文献※)	1年	3年	1年	3年	2年	3年

※出典: 電気学会技術報告Ⅱ-第344号「変圧器の予防保全技術の現状とその動向」

- ・電力会社の一般的な周期よりやや長めの分析周期
- ・フルフルール量分析は概ね経年20年以上を対象



■ 検討項目② 油中ガスデータの分析状況

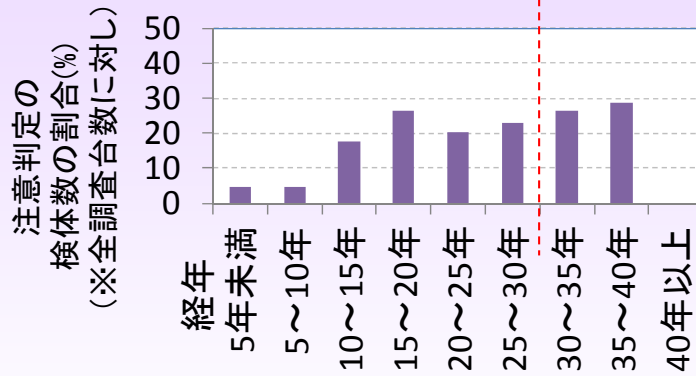
・油中ガス分析の統計処理結果

設備群	変圧器の 調査台数 (箇所数)	油中ガス の検体数	注意判定 (検体数)	各設備群 に対する 注意判定 検体数の割合	各設備群の 平均経年 (検体数基準)
油入整流器	16	31	10	32%	22.7年
整流器用変圧器	182	350	40	11%	18.5年
高配用変圧器	60	114	48	42%	17.6年
き電用変圧器等	20	33	6	18%	24.0年
所内用変圧器	6	6	1	17%	28.5年
合計	284台	534検体	105検体	—	18.3年

- ・高配用変圧器: 注意判定となった検体数が多い
- ・想定される原因→高配用: 油温が高め
整流器用: 短時間過負荷に耐える頑強な構造



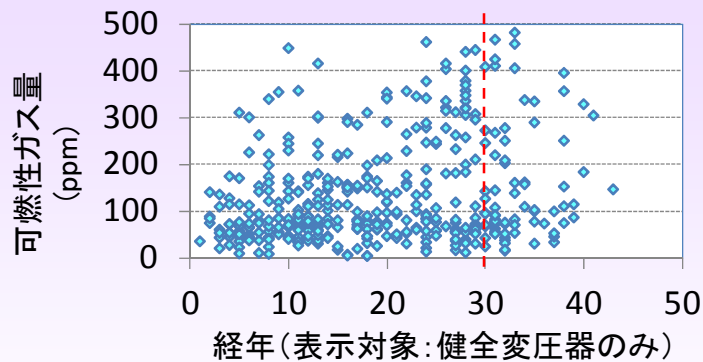
■ 検討項目② 変圧器経年と注意判定検体の傾向



- ・変圧器: 標準耐用年数は30年
- ・高配用: 経年10~15年目から注意判定が散見
- ・エチレン、水素、エタンの順番で注意判定が多い



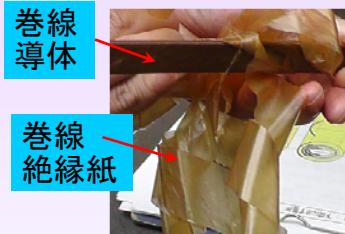
■ 検討項目② 変圧器経年と可燃性ガス量の傾向



- ・絶縁物での放電→可燃性ガス(エチレンetc)が蓄積
- ・経年と可燃性ガス量: 弱い相関関係(係数: 0.259)
- その時点での健全度評価 ×その後の余寿命評価



■ 検討項目③ 変圧器巻線絶縁紙の
余寿命評価手法の検討



- ・フルフラール: 絶縁紙の主成分であるセルロース分子から分解された有機物(絶縁油中に溶解)
代表的な化学式: $(C_4H_3O)CHO$
- ・絶縁紙の劣化度(健全度)評価: 平均重合度(分子の結合具合を示す指標・巻線の機械強度と関係)
- ・初期値: 100%、経年や油温上昇に伴い数値が低下



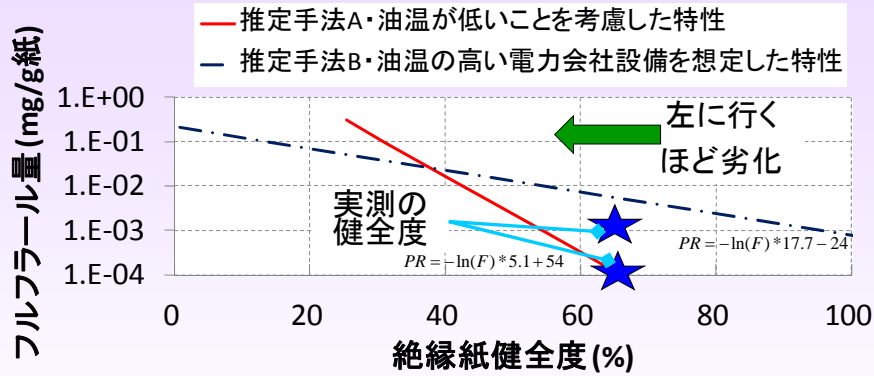
■ 検討項目③ 変圧器巻線絶縁紙の健全度実測例

経年	絶縁紙健全度実測部位 (初期値の45%以下:NG)		用途
	変圧器上部	変圧器下部	
34	56%	65%	電力会社(※)
37	50%	68%	電力会社(※)
36	65%	64%	電気鉄道用-1
41	65%	66%	電気鉄道用-2

- ・老朽化により解体された油入変圧器の絶縁紙を採取
→健全度(絶縁紙:セルロースの重合度)を評価
- ・変圧器上部→比較的高温の環境(劣化し易い)
- ・電気鉄道用変圧器→それほど劣化していない



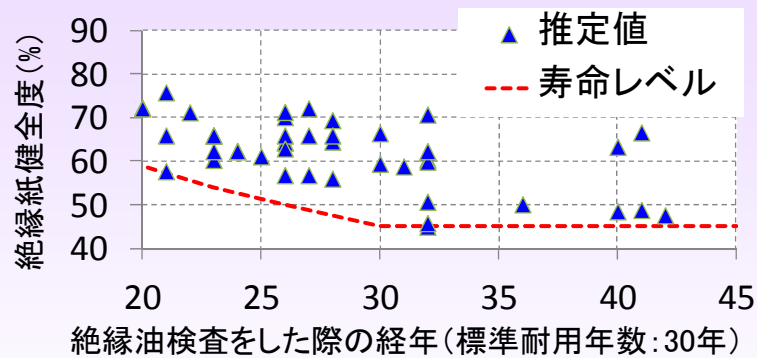
■ 検討項目③ 変圧器巻線絶縁紙の健全度推定



◎ 運転設備の絶縁紙: 採取不可能 → 絶縁油分析で代替
 ・ 油中フルフラール量 (絶縁紙分解物) から健全度推定
 → 電気鉄道用変圧器に適した推定特性: 油温低め条件



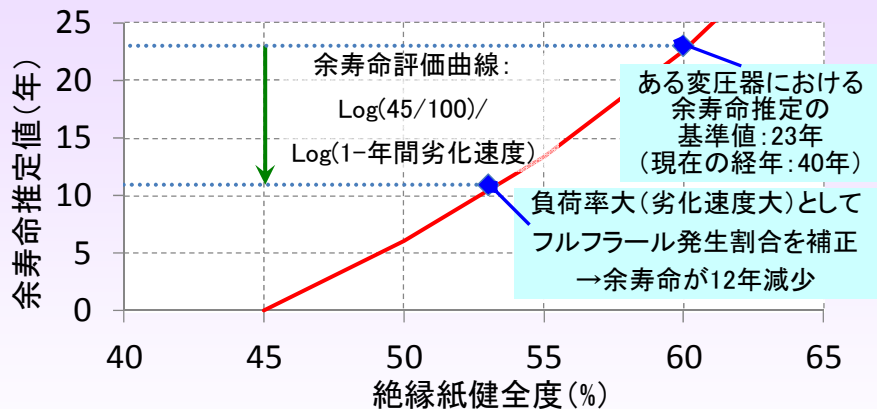
■ 検討項目③ 健全度データからの余寿命推定



・ 提案手法を用いて鉄道事業者から受領した絶縁油 (計68サンプル) の絶縁紙健全度を評価
 → 寿命レベルと同等かそれ以上の健全性を維持



■ 検討項目③ 絶縁紙余寿命推定における注意点



- ・負荷率が大で変圧器上部が高温になる場合
 →余寿命が少なく判定される→日頃の負荷管理が重要



■ 変圧器の寿命判定法

- ・ 取り替え周期平準化などの観点から設備寿命延伸の要求が高まっている
- ・ 上記を踏まえた変圧器用絶縁紙の撤去品分析、絶縁油分析による絶縁紙健全度の推定

■ 検討結果の概要

- ① 事業者データを収集し運用環境や劣化状況を調査
 - ・ 油入変圧器→最高油温は60℃以下(余裕有り)
 - ・ 高配用変圧器の油中ガスは注意検体が多い
- ② 余寿命の評価方法の検討
 - ・ 絶縁紙余寿命評価に適した劣化推定特性を提案
 - ・ 計68サンプルの絶縁紙劣化度を評価
 →寿命レベルと同等かそれ以上の健全性を維持

