

端子台の材質分析および寿命評価

変電機器の寿命延伸に向けた取り組み

Material Analysis and Lifetime Estimation of Terminal Blocks

Attempt to Extend Expected Lifetime of Substation Equipment

(電力技術研究所 材料化学G、電気G)

変電機器のさらなる寿命延伸のため、変電機器に使用されている端子台の材質分析および加速劣化試験による寿命評価を実施した。ほとんどの端子台が80年以上の使用に耐えることが示された。部品の材質によっては経年によって性能低下する可能性があることも判明したため、予防保全策の提案も行った。

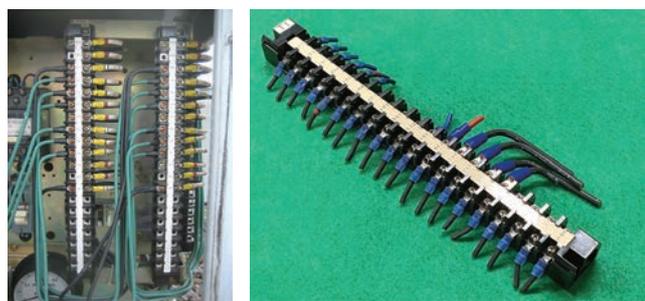
(Materials Engineering & Chemistry Group and Electrical Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

Material analysis and lifetime estimation of terminal blocks were performed for extending the expected lifetime of substation equipment. It was estimated that the lifetime of almost all terminal blocks were more than 80 years, except for the ones made from particular materials. Preventive maintenance methods for the less durable terminal blocks were also presented.

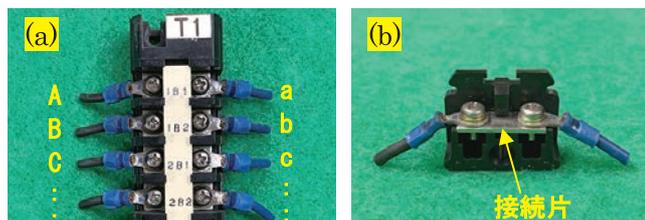
1 背景・目的

端子台（端子盤）は、電線の接続・分岐などのために複数の端子を配列させた部品である（第1、2図）。両側に等間隔で端子が配列しているが、隣り合う端子（第2図（a）のA-B, B-C…およびa-b, b-c…）は絶縁されており、反対側に位置する端子同士（同図のA-a, B-b, C-c…）が接続片（導電板）と呼ばれる金属片を共有し、導通している（第2図（b））。

端子台はガス遮断器（GCB）、油遮断器（OCB）、負荷開閉器（LS）などの変電機器にも使用されている。これらの機器は高度成長期に多く設置され、高経年化に伴い近年取替台数が増加傾向にある中で、使用期間と劣化度等を勘案して取替周期を延長してきている。これまで、機器の主要構成部品について劣化評価が行われてきたが、補助的な構成部品である端子台については行われていなかった。本稿では端子台の寿命を評価することによる変電機器のさらなる寿命延伸の可能性について検討した。



第1図 端子台の写真（左：GCBの分電盤の中、右：採取品）
※右の採取品は左のGCBから採取したものではない



第2図 端子台の構造（左：第1図右の一部を拡大、右：左図の端子台の1B1のブロックを取り出し、横から写したもの）

2 端子台の材質分析・性能比較

当社管内で約20～40年使用されたGCB、OCB、LSなど（合計34台）から端子台を合計405個採取し、赤外分光分析装置を用いて材質を分析した。

樹脂の材質は、ポリカーボネート（PC）、変性ポリフェニレンエーテル（m-PPE）、フェノール樹脂（PF）のいずれかで、PFには異なるスペクトルを示す2種類の材質（A,B）があった（第1表）。接続片はニッケルめっきを施した黄銅製のものが多かったが、銅だけでできたものもあった（第2表）。

採取した端子台の絶縁抵抗（第1図のA-B, B-C…間の抵抗）および導通抵抗（第1図のA-a, B-b, C-c…間の抵抗）を測定した。絶縁抵抗には樹脂部品の、導通抵抗には接続片の性状が大きく寄与すると思われるため、それぞれ材質毎の平均値を比較した（第1～2表）。絶縁抵抗は、PCおよびm-PPEでは $10^8 M\Omega$ 以上だったが、PFは4桁低い値を示した。導通抵抗については材質による差はあまりなかった。

第1表 収集した端子台の樹脂の材質と絶縁抵抗

材質（略称）	機器台数	経年数	絶縁抵抗 (MΩ)
ポリカーボネート (PC)	14	29～41	1.8×10^8
変性ポリフェニレンエーテル (m-PPE)	11	8～39	2.6×10^8
フェノール樹脂 (A) (PF-A)	6	16～39	7.2×10^4
フェノール樹脂 (B) (PF-B)	3	23～30	5.9×10^4

第2表 収集した端子台の接続片の材質と導通抵抗

材質	機器台数	経年数	導通抵抗 (mΩ)
ニッケルめっき黄銅	26	8～39	0.30
銅	8	32～41	0.29

3 端子台の加速劣化試験

採取した端子台の一部を温度85℃で実使用年数と合わせて約80年に相当する時間（10℃2倍則を適用）静置して加速劣化させた。湿度はサンプル表面の劣化促進のため90%RHとした。

採取前後の絶縁抵抗および導通抵抗を測定し、樹脂および接続片の材質毎の平均値を比較した（第3、4表）。

第3表 加速劣化前後の端子台の絶縁抵抗

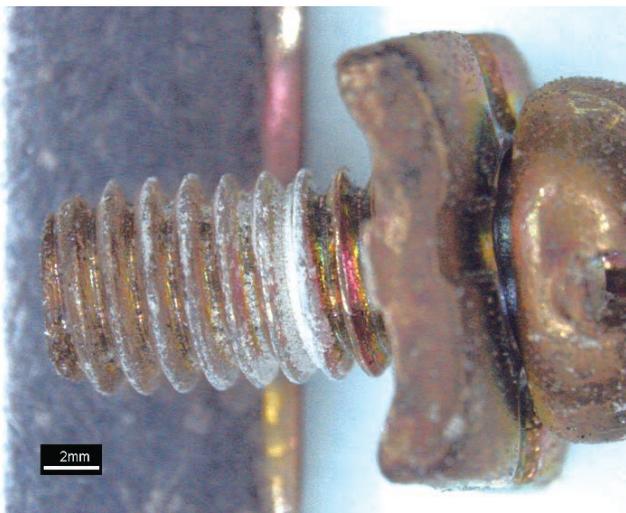
樹脂の材質 (略称)	使用した サンプル数	絶縁抵抗 (MΩ)	
		加速劣化前	加速劣化後
PC	4	1.6×10^8	1.8×10^8
m-PPE	2	1.4×10^8	9.4×10^7
PF-A	3	3.7×10^4	1.4×10^4
PF-B	2	4.9×10^3	8.6×10^1

第4表 加速劣化前後の端子台の導通抵抗

接続片の材質	使用した サンプル数	導通抵抗 (mΩ)	
		加速劣化前	加速劣化後
ニッケル めっき黄銅	9	0.27	0.25
銅	2	0.30	0.57

絶縁抵抗は、PF-Bを用いた端子台が86MΩまで低下したが、日本電気制御機器工業会（NECA）の規格C2811「工業用端子台」の基準値20MΩ以上は保持していた。他の材質の端子台は 10^4 MΩ以上で全く問題無く、80年以上の使用が可能と想定される。

導通抵抗は、接続片が銅の場合に増加した。詳細に調べると、一部の端子間の導通抵抗が最大3.8mΩまで上昇していた。導通抵抗が上昇した端子には白錆が付着し、加速試験前よりねじが若干緩んでいた（第3図）。

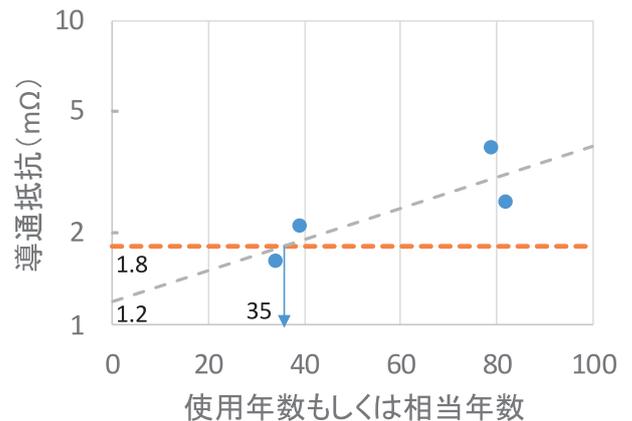


第3図 白錆の発生により緩みが生じたねじ

銅の接続片には全て亜鉛メッキ鋼のねじが使用されていた。銅と亜鉛はイオン化傾向の差が大きいため、異種金属接触によりイオン化傾向が高い亜鉛が溶出し、白錆の生成およびねじの緩みを引き起こし、導通抵抗を上昇させたものと推定される。

この結果を踏まえて、加速劣化試験により導通抵抗が上昇した、接続片に銅を使用した端子台の期待寿命の推定を行った。第4図に加速劣化前後の当該端子台の導通抵抗測定値の最大値を使用年数（もしくは相当年数）に対してプロットした（加速劣化試験を実施した端子台のうち、接続片が銅のものは2個だったため、加速劣化前後のプロットは2個ずつ）。

JIS C8201-7-1 (2016)「低圧開閉装置及び制御装置-補助装置-銅導体用端子台」では、特性試験後電圧降下試験における判定基準を試験前の150%以下と定めている。ここから、端子台の導通抵抗の許容値を未使用品の1.5倍までと仮定する。未使用品の導通抵抗の最大値は、プロットの外挿値から1.2mΩと算出されるため、許容値は1.8mΩとなる。プロットの近似線から、導通抵抗の最大値が許容値に達する年数はおよそ35年と算出された。



第4図 使用年数もしくは相当年数に対する端子台（接続片：銅製）の導通抵抗最大値（縦軸は対数表示）

上記の許容値は複数の仮定により算出されているものであることを踏まえ、安全のため、接続片が銅製の端子台については①一定の期間を経過したものについてはねじの白錆の有無を確認するとともにねじを締め直す②白錆が著しい場合はねじを交換するなどの対策が必要と思われる。

4 まとめ

変電機器に使用されている端子台の材質分析および加速劣化試験による寿命評価を実施した。ほとんどの端子台が80年以上の使用に耐えるが、接続片が銅製のものについては途中で状態が変化するおそれがあり、対策が必要であることが分かった。



執筆者／林修二郎・杉本敏文