

日本電機工業会技術資料（案）

JEM-TR 155

変圧器の保守・点検指針

Guide for maintenance and inspection of power transformers

1987 年（昭和 62 年） 4月 2日 制定

202X 年（令和 X 年） M月 D日 改正（第1回）



一般社団法人日本電機工業会

白 紙

DRAFT

目 次

ページ

1	適用範囲	1
2	引用規格	1
3	用語及び定義	1
4	現地据付時の保守・点検	2
4.1	一般事項	2
4.2	新品の場合	2
4.3	移設の場合	10
4.4	予備変圧器の保守・点検	11
5	運転開始後の保守・点検	11
5.1	一般事項	11
5.2	保守・点検する場合の注意事項	11
5.3	日常保守・点検	12
5.4	定期点検	14
5.5	内部点検	16
5.6	定期点検基準回数	17
6	保守・点検の基準	19
6.1	概要	19
6.2	変圧器本体の絶縁検査	19
6.3	絶縁油	21
6.4	負荷時タップ切換装置	30
6.5	無電圧タップ切換器	41
6.6	油劣化防止装置	42
6.7	ブッシング	49
6.8	冷却装置	58
6.9	温度計及び油面計	64
6.10	保護継電器	69
6.11	放圧装置	77
6.12	吸湿呼吸器	79
6.13	タンク及び継ぎ目	80
6.14	塗装	82
7	特殊変圧器	84
7.1	不燃性油変圧器の保守	84

7.2	乾式変圧器の保守	85
7.3	モールド変圧器の保守	85
8	故障及び対策	85
8.1	事故の原因	85
8.2	故障の種類	86
8.3	故障の抑制	87
8.4	変圧器の内部事故	88
8.5	内部事故の検出	89
8.6	内部事故の診断	91
8.7	内部点検	93
8.8	中身修理	94
8.9	老朽変圧器の修理	95
8.10	変圧器外部の故障・修理	95
	解説	97

DRAFT

まえがき

この技術資料は、変圧器技術専門委員会及び標準化委員会の審議を経て、新事業・標準化政策委員会が改正した日本電機工業会技術資料である。

これによって、**JEM-TR 155 : 1987**は改正され、この技術資料に置き換えられた。

この技術資料は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この技術資料の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。一般社団法人日本電機工業会は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

DRAFT

DRAFT

変圧器の保守・点検指針

Guide for maintenance and inspection of power transformers

1 適用範囲

この技術資料は、変圧器の保守・点検の方法について指針を示す。ただし、次の変圧器には適用しない。

- 単相1 kVA未満及び三相5 kVA未満の変圧器
- 計器用変圧器
- 接地変圧器及び消弧変圧器
- 半導体電力変換装置用変圧器
- 始動変圧器（始動補償器）
- 誘導電圧調整器及び移相器
- 試験用変圧器
- 車両用変圧器
- 溶接用変圧器
- 通信用変圧器

2 引用規格

次に掲げる引用規格は、この技術資料に引用されることによって、その一部又は全部がこの技術資料の一部を構成している。これらの引用規格は、記載の年の版を適用し、その後の改正版（追補を含む。）は適用しない。

- JIS C 2101:2010** 電気絶縁油試験方法
- JIS C 2320:2010** 電気絶縁油
- JIS C 4304:2013** 配電用6kV油入変圧器
- JIS C 4306:2013** 配電用6kVモールド変圧器
- JEM-TR 124:1979** 乾式変圧器の保守・点検指針
- JEM-TR 218:2019** モールド変圧器の保守・点検指針
- JEC-2200:2014** 変圧器
- JEC-2220:2023** 負荷時タップ切換装置

3 用語及び定義

この技術資料で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、**JIS C 4304:2013**、**JIS C 4306:2013**及び**JEC-2200:2014**による。

3.1

常規対地電圧

通常の運転状態で主回路の電路と大地との間に加わる電圧

3.2

予備変圧器

通常は運転しないが、運転中の変圧器に万一の事故があった場合、点検を行う場合等に備えて切換えて使用する変圧器

3.3

連成計

正及び負のゲージ圧力を測定するもの

注釈1 計器の目盛は、正のゲージ圧力を示す圧力部と、負のゲージ圧力を示す真空部から成る。

4 現地据付時の保守・点検

4.1 一般事項

工場試験に合格した変圧器が、荷造発送されて現地に到着したとき、及び現地据付時に注意しなければならないことについて述べる。

現地据付時の作業は、機器が運転に入る最後の工程であり、この段階での不具合は運転計画に直接重大な影響を及ぼすので、特に注意が必要である。

4.2 新品の場合

4.2.1 設置場所

変圧器の設置場所に対しては、機器の屋内・屋外の別、周囲温度・冷却方式の差異及び周囲のガスの種類・ちり（塵）・騒音の程度を検討する。

屋外用は屋内用としても使用できるが、通常、屋内用は屋外用として使用できないので、屋内用を屋外に設置する際は、各種の周囲条件に対する機器の防護程度を調査し、必要な場合は、対策をとらなければならない。

冷却方式については、次の点に注意する。

自冷式（乾式及び油入）、自冷/風冷式（乾式及び油入）及び送油風冷式の各方式は、冷却媒体がいずれも空気であり、機器の定格に合致した一定温度以下の十分な量の空気を必要とする。したがって、設置時には、所定の空気が得られ、必要な冷却が行われるかどうかを検討し、特に屋内用の場合は建物の通風について防火設備、防音設備等とともに総合的に配慮しなければならない。

周囲温度条件は、**JEC-2200:2014**では“最低気温は屋外の場合 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、屋内の場合 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ を下回らないもの”と規定しており、屋内と屋外とで異なるため、確認しなければならない。

次に、油入水冷式・送油水冷式の各方式では空気の影響はあまり考慮しなくてもよいが、指定の水温、水質及び水量が十分得られるよう考慮し、特に冷却水管路の抵抗が著しく増すことのないようにする。

各種のガス・塩害・ちり（塵）・騒音の影響は、通常、製作仕様で指定されるが、製作された機器が雰囲気中のガスで侵食されないか、また、気中絶縁部分が塩害・ちり（塵）でせん（閃）絡等を起こさないかをあらかじめ確認しなければならない。

また、基礎は、常時の荷重だけでなく地震による荷重に対して地盤の性質も含めて考慮され施されている

るかどうかを調べなければならない。

4.2.2 工場から現地に到着したときの点検

工場から現地に輸送する方法には、次の種類がある。

- a) **完全組立輸送** 現地で組立する必要がなく据付けが終われば直ちに使用できる方法で、三相77 kV、15 000 kVA程度までは完全組立輸送が可能である。現在の輸送手段としては鉄道輸送に替わって、**図1**のようにトレーラによる輸送が主流となっている。



図1—全装可搬形変圧器の輸送荷姿の例（7 MVA，66/6.6 kV 三相変圧器）

- b) **中身組立輸送** 本体タンク及び本体カバー，本体タンク及び輸送用カバー，又は輸送用タンクを使用して組み立てた巻線，鉄心等の中身部品を収納し，油，窒素ガス又は乾燥空気を封入の上，**図2**のように輸送する方法で，高圧・大容量の変圧器で一般的に採用される。

この場合，輸送限界内に収めるために，通常，ブッシング，コンサベータ，放圧管，冷却装置等を取り外して別送する。



図2—中身完全組立輸送荷姿の例（300 MVA，275 kV 三相変圧器）

- c) **分解輸送** 鉄心，巻線，タンク等を分解して輸送する方法で，フィルム等を用いて吸湿防止を図り，現地に設置した簡易組立ハウス内で再組立を行う。

次に，上記**a)～c)**の方法で輸送した場合，現地に到着したときに点検しなければならない事項について述べる。

到着した機器は，運搬車から降ろす前に部品の脱落，変形等の外部点検を行い，異常があるときは直ちに製造業者に連絡し，補修する。変圧器は，輸送中の振動に対しては，本体が損傷しないように製作されているので，現地に到着した変圧器は，外部点検後，異常がなければそのまま使用状態とすることが望ましい。ただし，輸送中の振動加速度の管理のため変圧器に加速度計が取り付けられている場合は，加速度

計の測定値を確認し、製造業者の指定値を超えているときは変圧器各部の点検を行う。

窒素ガス又は乾燥空気を封入して輸送した場合、封入ガスの漏れの有無を圧力計によって点検する。圧力計の指示がゼロになっている場合は、漏れがあり、中身は空気に接触して吸湿している可能性があるため、製造業者に連絡して調査する。

運搬途中における各部の損傷・締付部の緩みの有無を特に検査するために中身を点検したい場合には、マンホールからタンク内に入るか、又はハンドホールから目視することによって、ある程度、調査することが可能である。その際には、タンク内に乾燥空気を送り込む等酸素欠乏による事故がないように配慮するとともに、使用する照明器具は、破損した場合の用心のために保護網のあるものを用い、かつ、コードも油に溶けない材質のものを使用する。

点検のため中身をつり上げることは、絶縁物が吸湿するおそれがあり、このためにかえって巻線の絶縁状態を悪化させることもあるので、吸湿防止対策を行うか、又は再乾燥の実施を検討しなければならない。

特別の目的のために中身をつり上げて点検する場合、簡単に実施できないため、製造業者に連絡する。一般にはブッシングとの接続を外し、各部の附属品を取り外して中身をつり上げるが、この場合には、つり耳か、又はつりボルトにロープをかける。つり耳に大きな曲げの力がかからないようにスプレッド（つりジグ）を使用する場合がある。

中身つり上げ作業は、中身が湿気を吸収しないよう、湿気の少ない日を選んで行い、終了後は、油又は窒素を封入して防湿対策を施す。

作業中は、中身をきずついたり、内部に金属物が入ったりしないように、工具及び小部品の取扱い、服装等に注意する。この注意は、中身をタンク内で点検する際にも重要である。

通常、再組立には、製造業者側から作業を指導する技術員が派遣される。

4.2.3 据付時の検査

到着品の点検が終了した後、機器を据付けて完全に組み立てる。

組立完了後は、次の点を検査する。

- a) **一般構造の検査** 締付部の緩み、部品の脱落、誤った部品の取付け等の有無を確かめる。
- b) **接続状態の検査** 接続に間違いはないか、適切な接続線か、接続部の締付けは完全か等を調査する。
- c) **補機の運転・操作の検査** 補機の運転は正常か、操作は取扱説明書のとおり行われるか、各部の計器の指示（例えば電流・油流指示等）は正常か等を確かめる。
- d) **タップ切換装置の動作** 切換えが円滑かどうか、操作装置の指示値と電圧の実測値とが合っているか、また、電動操作機構付きのものでは、遠隔操作が完全に行われるか、制御盤と変圧器本体のタップ位置との指示が合致しているか等を調査する。

注記 タップ切換装置の詳細については、6.4及び6.5参照。

- e) **附属品の警報装置の動作** 動作が正常か、誤動作はないか、例えば警報接点が常時閉じているようなことはないか、各種継電器の誤動作はないか等を調査する。
- f) **油の耐圧及び油量の点検** 油の耐圧は指定以上あるか、油量は適正なだけあるかどうか等を調査する。
- g) **ガス封入装置の点検** 封入ガスの漏れはないか、封入圧力は適正か等を調査する。ガス漏れの点検は、6.5参照。

a)～g)の確認を行って異常があれば、補修が必要となる。異常の程度が大きい場合には製造業者に連絡する。

変圧器現地据付け時の工事会社の工事完了点検報告書の一例を図3に示す。

工事完了点検報告書 (例)			
			報告日付 年 月 日
客先会社名			所在地
製造番号	定格	台数	
工事内容の概要			
工事期間	自 年 月 日	至 年 月 日	
工事会社名	客先御担当者		
工事責任者	工事指導者		
点検項目及びその結果			
1.	窒素ガス封入輸送の場合、現地到着後の点検結果、窒素は正圧であったかどうか	.....	正圧 負圧
2.	到着部品の異常の有無	.....	有 無
3.	中身点検結果の異常の有無	.....	有 無
4.	変圧比試験結果の良、不良	.....	良 不良
5.	油気密検査の記録及び結果	MPa 時間後	良 不良
6.	タップ整定は正しいか	.....	良 不良
7.	窒素ガス封入の記録	外気温度 °C 油温 °C 本体コンサベータの油面	
		封入圧力値 MPa	
8.	絶縁抵抗値	天候 油温 °C Vメガ	
	巻線と大地間	HV-E MV-E LV-E	
	巻線と巻線間	HV-MV HV-LV MV-LV	
9.	絶縁油の破壊電圧値	本体に封入する前のもの kV (JIS C 2101:2010 電極2.5mm)	
		本体に封入したものの kV (JIS C 2101:2010 電極2.5mm)	
10.	ブッシングと内部リードとの締付けは完全かどうか	.....	良 不良
11.	接地端子と接地線の接触及び締付けは完全かどうか	.....	良 不良

図3－工事完了点検報告書の例

12. ブッシングと外部リードとの接触及び締付状態の点検

(締付端子の場合の例を次に示す。)

点検項目	高压側	中压側	低压側	中性点側
穴が合っているか				
接触面が互いに平行であるか				
外部リードに対してブッシングに無理はないか				
十分締付けたか				
締付部のギャップの点検				
締付状態での各部の無理の有無				
回りどめ座金の確認 (使用した場合)				

13. 附属品

a. 窒素封入装置の動作は正常か	良	不良
b. 放熱器弁の動作は確実か	良	不良
c. 放熱器弁は全数開にしたか	良	不良
d. ユニットクーラー用冷却扇の回転の向きは正しいか	良	不良
e. 送油ポンプの回転の向きは正しいか	良	不良
f. ブッフホルツ継電器は水平に取り付けているか	良	不良
g. ブッフホルツ継電器の動作試験の結果	良	不良
h. 放圧弁のふたは完全に締まっているか	良	不良
i. ダイヤル温度計と棒状温度計の温度の指示は適正か	良	不良
j. ブッシングの油面計の指示はそろっているか	良	不良
k. 附属品の配線の調査結果	良	不良
l. 油流指示器の動作は正確か	良	不良
m. 断流継電器の動作は正確か	良	不良
n. 圧力継電器の動作試験の結果	良	不良
o. ブッシング変流器二次短絡用スイッチの接触はよいか	良	不良

工事完了後、予備品の受渡しの客先責任者 _____

工事完了後の不足部品及び未完了の箇所：なし、あり (あれば下記に記載)

手配を要する事項及び注意事項

その他

(注)

1. 上記に示された点検事項は点検し、該当欄を○で囲むこと。
2. 数値で示される項目は、なるべくその数値を記入のこと。
3. 記入事項のない項目は斜線で消すこと。

図3—工事完了点検報告書の例 (続き)

4.2.4 据付時の電気試験

4.2.4.1 一般

各部の構造検査が終了した後、電気試験を行う。現地で行う電気試験は、次のとおりである。

- ・ 変圧比測定
- ・ 絶縁抵抗測定
- ・ 極性試験及び位相変位試験
- ・ 耐電圧試験
- ・ 温度上昇試験

そのほか、誘電正接 ($\tan\delta$) 測定、騒音測定、タップ切換器の動作試験、附属品の試験、補機の試験等がある。

試験方法を4.2.4.2～4.2.4.6に述べる。

4.2.4.2 変圧比測定

変圧器巻線間の電圧比が図4のように変圧器の巻線に約200 Vの電圧を印加し、他の巻線に誘起する電圧を測定し、その電圧比から変圧比を算出する。電圧を印加する巻線は高圧側巻線が一般的で、2台の電圧計を用いて測定する方法を2電圧計法という。なお、図4中のHVは高圧巻線、MVは中圧巻線、LVは低圧巻線を示す。

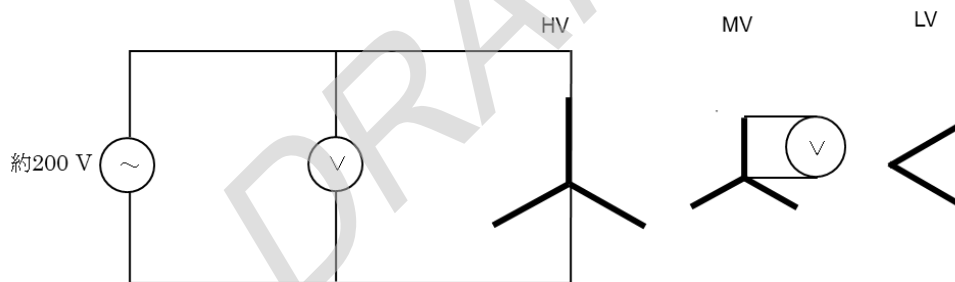


図4-2電圧計法を用いた測定例

4.2.4.3 絶縁抵抗測定

測定器は、1 000 V又は2 000 Vの2 000 M Ω 以上の絶縁抵抗計を用いて測定する。絶縁抵抗は、温度によって著しく異なるため、測定時の温度を記録する。測定は、図5の接続で行うが、その前に指針がリード線を含めてリード線短絡のとき0、開放のとき ∞ を正しく示すことを確認する。ガードリング（保護端子）は、ブッシング表面に流れる漏れ電流による誤差を防止するもので、一般には省略されることが多いが、特にがいし表面の汚損等によって漏れ電流が大きいと考えられる場合は、できるだけガードリングを取り付けることが望ましい。



a) HV-Eの場合 (LV-Eも同様)

b) HV-LVの場合



c) HV-Eの場合 (MV-E, LV-Eも同様)

d) HV-LVの場合 (HV-MV, MV-LVも同様)

注記 HVは高圧巻線, MVは中圧巻線, LVは低圧巻線, Eは接地を示す。

図5—絶縁抵抗測定時の接続例

4.2.4.4 極性試験及び位相変位試験

4.2.4.4.1 極性試験

単相の場合、図6のa)の接続で低い電圧を高圧側に加え、 E_1 、 E_2 の読みを取る。 $E_1 > E_2$ のときは減極性で、 $E_1 < E_2$ のときは加極性である。巻数比が大きいときは E_1 と E_2 の差が小さく、判定できないので、図6のb)の接続で高圧側に電池を接続し、スイッチSを投入した瞬間のEの振れをみる。振れが正のときは減極性で、負のときは加極性である。



a)

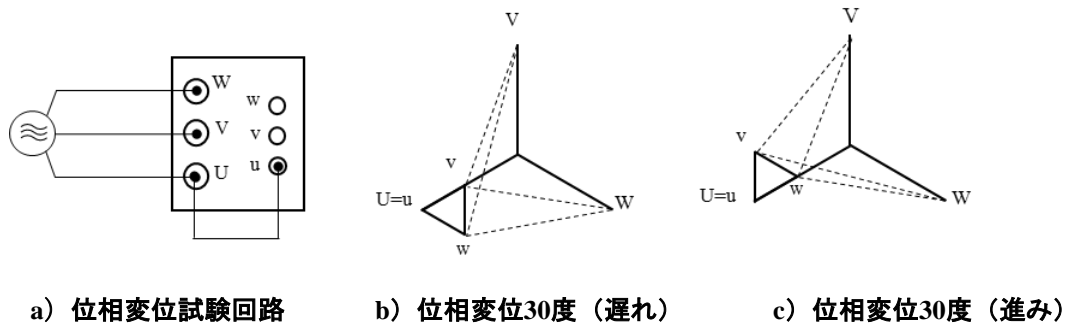
b)

図6—極性試験の接続

4.2.4.4.2 位相変位試験

三相の場合、図7 a)のように高圧巻線と低圧巻線の相対する端子（通常はUとu）とを接続し、高圧巻線に電圧を印加し、各端子間の電圧Eを測定してベクトル図を作図することで位相変位を判定することが可

能である。作図例を図7のb), c)に示す



位相変位30度（遅れ）： $E_{Vw} > E_{Wv} = E_{Vv} = E_{Ww}$

位相変位30度（進み）： $E_{Wv} > E_{Vw} = E_{Vv} = E_{Ww}$

図7—位相変位試験の接続及び作図の例

4.2.4.5 耐電圧試験

耐電圧試験を実施する前に絶縁抵抗、及び油の破壊電圧を測定し、異常がないことを確認する。試験電圧は、電気設備の技術基準の解釈（以下、電技解釈という。）で定められており、第16条 16-1表を参照する。

試験方法は次のものがあるが、いずれで行うかは被試験変圧器の定格、試験電源等種々の事情に応じて決定する。

- 試験用変圧器を使用して電圧を印加する方法。
- 低圧側を励磁して電圧を印加する方法。
- 変圧器又は被試験変圧器の各巻線端子を適切に組み合わせて所定の試験電圧となるようにする方法。

耐電圧試験ではなく、最終確認として常規対地電圧を一定時間印加する方法が採用されている。ただし、そのためには、次の2つの条件を満足すること、及び使用者の確認項目が明確で、かつ、使用者が実際にそのとおり確認していなければならない。

- 工場においてJEC-2200:2014で規定されている絶縁性能が検証されている。
- 工場、輸送及び現地での統一された管理基準があり、その管理基準に基づいて施工されている。

4.2.4.6 温度上昇試験

温度上昇試験の方法は、次のいずれかによる。ただし、温度上昇試験は、電技解釈第20条及びJESC E7002:2021の箇条3によって、JEC-2200:2014に基づき工場で温度上昇試験を実施したものについては、省略可能である。

- a) 小容量変圧器では、水抵抗等の適切な負荷を用いて行う方法。
- b) 2台の被試験変圧器がある場合は、返還負荷法を用いる方法。
インピーダンス電圧を与えるにはタップ電圧の差を用いるか又は補助変圧器を使用する。
- c) 被試験変圧器が1台の場合は、次のいずれかによる方法。
 - 1) 全損失を負荷損で供給し、温度上昇を測定する方法。

この方法は、全損失を供給するために流す電流が定格の最大110 %以下のときに用いることが望ましい。

- 2) 無負荷損分は冷却装置（放熱器，ユニットクーラー等）の運転台数を減じて負荷損だけを供給する方法。
 - 3) 上記の3.1) 及び3.2) を併用する方法。
 - 4) 冷却装置の台数は減らさず，定格状態とは異なった損失を供給して試験し，測定値を定格状態に換算する方法。
- d) 大容量で試験電源が得られない場合は，試運転の際に実負荷をかけた状態で行う方法。
3巻線変圧器の場合には，負荷のかけ方に種々の方法があるので，製造業者と協議の上で行うことが望ましい。

4.2.5 運転開始直後の点検

試験及び点検で異常のないことが確認できれば運転を開始することが可能である。このときの点検は，次の諸事項について確認する。

- 騒音が異常に大きくない。
- 振動が過度に大きくない。
- 異常音がない。
- 異常な臭気がない。
- タンク等に局部過熱がない。
- 冷却装置の動作は正常である。
- 油面，油温度は正常である。
- 窒素封入装置の動作が正常である。
- 油中ガス分析の結果が正常である。

上記の点検は，後述の日常点検と同様に点検する。このとき，変圧器の負荷，電圧及び周波数を記録し，適切な値であることを確認する。

4.3 移設の場合

4.3.1 一般事項

機器を移設する場合は，新設のときと同様の注意が必要であるが，特に4.3.2～4.3.6の点が問題になる。

4.3.2 設置場所

移設する変圧器が移設場所に適しているかどうか，移設場所の諸条件を十分検討する。新品の場合で述べた各種事項（4.2参照）のほか，移設場所の負荷・電圧・周波数に対して移設する変圧器が適応しているかどうかも確認する。

4.3.3 輸送前の点検

移設が可能である場合は，その機器が輸送可能かどうかを調査する。その変圧器が据え付けられた当時の輸送条件と移設時点の輸送条件とは同一でない可能性がある。特に輸送条件が厳しくなっている場合は，その輸送を完全に組立てた状態とするか，中身だけ組立てた状態とするか，分解した状態とするかについては，十分検討しなければならない。同時に，変圧器の老朽程度も調査する。

運転開始から20年以上経過した変圧器では，分解後の再組立が困難な場合も，輸送方法によっては中身

に与える振動が損傷の原因となる場合もある。したがって、移設の場合は、中身を調査し、その調査結果、輸送方法等を総合的に判断して移設可能かどうかを決定する。

ブッシング等の附属品については、メーカーの取扱説明書の交換推奨時期を超えている場合には、交換又は修理が必要となる。

4.3.4 到着後の点検

現地での運転開始前の準備、及び到着後の点検は、新品の場合（4.2参照）と同様に実施する。

4.3.5 現地での試験

現地での試験は、4.2.4に記載の方法で実施する。

4.3.6 運転開始前後の準備及び点検

現地試験完了後、運転を開始する場合の準備及び点検の事項は、新品の場合（4.2参照）と同じでよい。

4.4 予備変圧器の保守・点検

予備変圧器とは、通常は運転しないが、運転中の変圧器に万一の事故があった場合、点検を行う場合等に備えて切換えて使用する変圧器のことをいう。

したがって、予備変圧器は、常時使用可能な状態にすることが望ましい。そのため、予備変圧器の保守は、運転中の変圧器の保守と同様に行う。切換えが容易であれば、予備変圧器は、適宜運転中のものと切換えて使用することが望ましい。

予備変圧器は、特に次の点に注意する。

- a) 水冷式変圧器では、冷却水管中の水が凍結したり、パイプを腐食させたりする可能性があるため、水抜きする。
- b) 開放式の油入変圧器は、通気によって内面に水滴がたまり、絶縁油の劣化の原因となるおそれがあるため、絶縁油の保守及び通気部分の保守・点検は、水滴がたまらないように行う。

5 運転開始後の保守・点検

5.1 一般事項

変圧器は、運転開始直後から保守・点検を行い、常に運転状態を把握しておくことが大切である。

保守・点検の適否が運転の信頼性及び寿命に影響するので、点検の内容・周期を定めて、計画的に実施しなければならない。

一般に、保守・点検は、日常点検、定期点検及び内部点検に分けて実施する。

5.2 保守・点検する場合の注意事項

5.2.1 一般事項

保守・点検に当たっては、危険な作業を伴うので、事前に綿密な計画を立てると同時に、人命の安全、及び機器の安全について、機器管理者と作業者との間で十分な打合せを行って、作業を進めなければならない。

ない。

5.2.2 使用時に電圧が印加されている部分の作業の場合

保守・点検する変圧器が回路から切り離されているかどうかを遮断器、開閉器の回路によって確認の上、更なる回路の電圧に適応した検電器によって無電圧であることを確かめてから作業を行う。停電していると思いついで確認を怠ることは、重大事故の原因となる。また、変圧器に近接した遮断器の変圧器側端子は、接地して作業する。

5.2.3 内部を点検する場合

内部点検では、内部に物を落としてはならない。服装・持物の取扱いに細心の注意を払い、工具類はひもで結び付け、ポケットには硬貨、ナイフ等を入れないようにする。

5.3 日常保守・点検

5.3.1 一般事項

日常保守・点検は、構内巡視の際に機器の運転状態で随時行うものである。一般に、機器の運転に必要な計器類が備えられているので、それら計器類の値を記録する。記録した値が、平常の記録値と著しく異なるときは、詳細に調査する。

また、人間の諸感覚による異常現象の感知、例えば異常騒音、臭気、変色等がないかも確認する。

5.3.2 変圧器の温度

変圧器の温度は、絶縁物の寿命に直接関係するため、重要な点検項目である。JEC-2200:2014では、周囲温度40℃の場合、絶縁油の温度は、本体タンク内の油が直接外気と接触するときは90℃、直接外気と接触しないときは95℃、使用状態及び適用絶縁材料を考慮したときは100℃が限度と規定されているが、日常は、この限度以下であることを確かめるだけでなく、試験成績表の結果、負荷状態及び周囲温度も考慮して適切な温度であるかどうかを確かめる。

温度指示計としては、通常、棒状温度計又はダイヤル温度計が備えられている。両方備えている場合は、取付け位置の違いで、多少指示温度に差が出ることがあるが、その差が乖離しているときは、その原因を調べ、計器の指示不良か、又は油温の異常かどうかを確認する。

5.3.3 油量の点検

油入変圧器の油量は、絶縁及び冷却の面から、油面が適正位置にあるかどうかを監視する。油面の温度に対する関係位置が著しく異なるときは、その原因を明らかにし、処置しなければならない。油面計にはダイヤル・板状等がある。板状油面計では、特に油面計のガラスは常に透明にし、また、出入口が、ちり(塵)又は沈澱物で閉じられて指示不良となっていないことを確認する。

5.3.4 音響

普段の音との変化に気が付くことで、事故の早期発見がされることがしばしばある。異常音の主な原因を次に示す。

- a) 電源の周波数及び波形の変化によるタンク、冷却装置等の共振。
- b) 鉄心の締付機構上の欠点。

- c) 鉄心及び締付金具・締付ボルト等の鉄心構造上の欠陥による、成層鉄心の層間短絡。
- d) 締付部の緩み。
- e) 接地が不完全になったため又はどこか非接地の金属体が生じたために起こる静電放電による異常音。

これらの異常音は、外部から又はタンクに耳を当てることによって、相当微小な音も感知することが可能である。

5.3.5 締付部及び弁の緩み

端子及び接地端子の緩みが認められた場合には、運転停止して締め直す。

弁類は、振動によって緩むこともあるので、緩みがないか確認する。

5.3.6 油漏れ

油漏れは、油の劣化の一因ともなり、また、変圧器の外観を著しく汚損するため、弁類の取付け箇所、ガスケット部分等を点検する。

油漏れの原因が溶接不良の場合は、製造業者に連絡する（6.13参照）。

5.3.7 ガス漏れ

窒素封入形の変圧器に対しては、窒素ガス漏れの有無の点検を行う。

窒素ガスの圧力が適正範囲内であるかを点検し、必要があれば窒素ガスを補給する（6.6参照）。

5.3.8 吸湿呼吸器

呼吸器が正常に動作しているかどうかを点検する。呼吸器には、吸湿剤として、シリカゲル、活性アルミナ等が入れられており、吸湿すると変色するため、点検で変色が確認された場合は、交換するか、又は乾燥再生処理を行う（6.12参照）。

5.3.9 放圧板

放圧板の亀裂の有無、損傷の有無及び噴油の形跡がないか点検する。放圧板は、一般に高いところにあり、高所作業になるため、転落しないように注意して点検する（6.11.1参照）。

なお、自動復帰型は、復旧に際して放圧板の交換が不要になっている。

5.3.10 冷却装置

5.3.10.1 一般事項

自冷式については、5.3.9までの点検に含まれるが、送油式については、その他に5.3.10.2及び5.3.10.3の点を注意して点検する（6.8参照）。

5.3.10.2 送油風冷式

通常1個の送油ポンプと数個の冷却扇とで、図8のように一単位を構成している。電動機の回転音に異常がないか、円滑な回転をしているかを点検する。

5.3.10.3 送油水冷式

送油ポンプの回転が円滑であるかどうかを点検する。冷却水量を目測し、異常がないか、また、各変圧器にそれぞれ適量が配分されているかどうかを調べる。

なお、送油水冷式は、一般に油側の圧力を水側の圧力よりも高くなるように設計されている。特に水管が一重管の場合には、起動時には送油ポンプを先に運転し、その後、送水ポンプを運転するとともに、運転後も附属している圧力計によって、水圧と油圧との関係に注意して油圧の方が高いことを確認する。他方、二重管方式においては、管間に漏油・漏水の検知器が附属されるのが一般的であることから、この検知器の動作について点検する。

油圧・水圧は、管内の目詰まり等の異常を知るのに役立つことがあるので、機器の仕様に関係なく、異常の有無を点検する。

冷却水を河川から直接供給する場合は、豪雨、洪水等で濁水となったときは、目詰まりを防止するために適切な頻度で逆流させる。



図8—変電所構内における大容量変圧器の例
(1000 MVA, 500/220/63 kV 三相送油風冷式変圧器)

5.3.11 その他一般計器

各種計器の指示・動作が正常であるかどうかを調べる。

5.4 定期点検

5.4.1 概要

定期点検は、一定の周期で行う点検である。定期点検の項目には、5.4.2～5.4.11のようなものがある。

5.4.2 巻線の絶縁抵抗

巻線の絶縁抵抗の測定は、絶縁劣化の状態及び吸湿程度を推定するために行うもので、各巻線間及び大地間について行う。

絶縁劣化の状態及び吸湿程度は、正確に知ることはできないため、絶縁抵抗計による測定は手軽で広く行われている（6.2.3参照）。

5.4.3 巻線の誘電正接 ($\tan\delta$)

$\tan\delta$ の測定は、巻線・絶縁物の劣化程度を推定するために行うもので、絶縁抵抗の測定に次いで広く採用されている。

$\tan\delta$ の値は、温度・湿度・測定電圧によって変化し、その良否の判定もある範囲で行われているが、測定値を記録しておき、経年変化で判定することも重要である（6.2.3参照）。

5.4.4 絶縁油

巻線及びブッシングの絶縁性能は、絶縁油の保存状態に依存しているともいうことができ、その保守の良否は、大きく変圧器の寿命に影響する（6.3参照）。また、油中ガス分析は、予防保全上、有効である（8.6.3参照）。

5.4.5 負荷時タップ切換装置

大部分が油中切換開閉器であるため、外部からの点検は困難である。外部から回転部分の動作が円滑であるかどうかを調べるために、1タップごとの切換動作を行う（6.4参照）。

5.4.6 油劣化防止装置

油劣化防止装置には種々の方式がある。製造業者の取扱説明書によってガス漏れのおそれがある部分の点検に注意する（6.6参照）。

5.4.7 コンサベータ

窒素封入式又は密封式では、油の劣化はほとんど生じないが、開放形では、まずコンサベータ内の油が劣化し、水分及びスラッジが下部ポケットにたまるため、十分点検清掃する（6.3.3参照）。

5.4.8 冷却装置

5.4.8.1 一般事項

特に点検を要する冷却装置としては、5.4.8.2～5.4.8.4のものが挙げられる（6.8参照）。

5.4.8.2 冷却用送風機及び送油ポンプ

製造業者の取扱説明書によって、冷却扇電動機の分解点検、ベアリング交換、グリース交換等を行う。特に変圧器の停止時に冷却扇を運転し、異常振動及び／又は音によって異常の有無を調べる。送油ポンプは、回転むらがないか、ケースから油漏れがないかどうかを点検する。

5.4.8.3 水冷却管

油入水冷式及び送油水冷式冷却管は、冷却水によって腐食することがあり、万一、水が絶縁油の中に混入すると内部事故の原因となるため、一重管の場合は定期的に冷却管の耐圧試験を行い、漏れがないことを確認する。二重管の場合は、漏えい検知器について点検する。また、一重管及び二重管の両方において、腐食の原因となる冷却水質についても、定期的に検査して保全し、過度の温度上昇の原因となる水あかの堆積有無を確認する。

5.4.8.4 風冷却管

送油風冷式（導油風冷式含む。）の場合、風冷式冷却管のフィンが気中の不純物によって腐食及び／又は目詰まりを起こし、漏油及び冷却効率の低下の原因となるので、定期的に清掃すると同時に腐食の進行度を点検する。

5.4.9 温度計

5.4.9.1 棒状温度計

通常、棒状温度計は、間接式取付けになっており、取換えに際してもポケットの油又は充填物だけを換えればよい。

点検は、取付部の油漏れ・ガラス表面の曇り等不鮮明なもの等を手入れする。同時に指示部のアルコール又は水銀切れについても十分点検し、不備があれば交換する（6.9.2参照）。

5.4.9.2 ダイヤル温度計

内部にさび（錆）を生じていないか、水分が浸入していないか、指針の動作が円滑か、警報接点は確実に動作するか等について点検する。

ガラスが曇っている場合は、ガスケットを取り換える（6.9.3参照）。

5.4.9.3 電氣的温度指示装置

電氣的温度指示装置は、油の温度による測温抵抗の抵抗変化を計器に指示するもので、各端子等接触抵抗の変化のおそれがある箇所を注意して点検する。指示計器は、配電盤に取り付けられており、配電盤側で点検する（6.9.4参照）。

5.4.10 保護継電器類

保護継電器類は、全て正常な動作を行うかどうか、汚れ・発せい（錆）がないか等の状態を調べる（6.10参照）。

特に継電器の種類によっては、振動によって動作不良を起こすことがあるため、異常に振動が伝わっていないかどうかを点検する。

5.4.11 吸湿呼吸器

シリカゲルを吸湿剤として使用するものが多い。変色しているものは取り換えるか、乾燥再生処理を行う。

その他、ガスケットの点検等を行う（6.12参照）。

5.5 内部点検

5.5.1 概要

内部点検は原則行う必要はないが、もし行う場合は点検はできるだけ一日で終わるようにし、二日にわたるような場合は、夜間は油中に変圧器内部部品（コイル、鉄心、リード等）を戻し、吸湿しないように注意する（8.7参照）。

5.5.2 点検の程度

内部点検は、その程度によって次の3段階に分けられる。

- a) **第1段階** 油を鉄心上面まで抜き、コイルは油に浸しておく。
- b) **第2段階** 油を全量抜き、内部へ入って点検する。
- c) **第3段階** 中身を外へつり出して点検する。

5.5.3 巻線

コイル導体及び絶縁物の変形、亀裂等の損傷の有無を点検する。コイル押さえボルト等の締付部分に緩みがないか点検し、緩みがある場合は締め直す。スラッジがひどいときは、油で洗い流す。巻線の絶縁劣化の判定については、6.2による。

5.5.4 鉄心

発せい（錆）・層間短絡の痕跡・変形について特に注意し、鉄心上部に異物等がないか、鉄心締付ボルトの絶縁及び鉄心の接地が完全かどうかを点検する。

5.5.5 リード線及び支え木

変形・損傷の有無、取付け部分の緩み等を点検する。特に長年使用した変圧器のリード線は、劣化によってもろくなっているため、絶縁紙に触れて破損しないように注意して点検する。図9に一般的な変圧器の中身を示す。

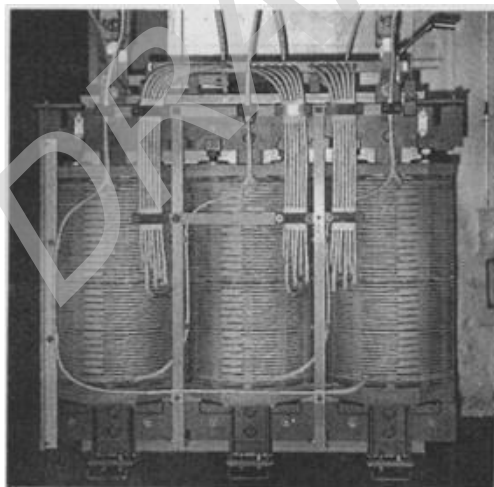


図9—変圧器の中身の例
(5 MVA, 33/6.6 kV 三相自冷式変圧器)

5.6 定期点検基準回数

表1に示す定期点検基準回数は、通常の負荷状態にある電力用変圧器についてのものである。

なお、この点検基準回数は一般的なもので、異常が発生した場合は、即時、点検することが望ましい。

表1—定期点検基準回数

No.	点検項目	回数	注意点
1	巻線	絶縁抵抗測定	急激な経年変化及び納入時の試験成績に対して、甚だしい変化のあったときは異常と認める。
2		誘電正接測定	
3	絶縁油	破壊電圧測定	—
4		油中ガス分析	8.6.3参照
5		酸価測定	—
6		性能試験	点検項目1～5の測定の結果、異常を認めたとき行う。
7		油のろ過	点検項目1～6の測定の結果、異常を認めたとき行う。
8	負荷時タップ切換装置	切換開閉器室油・切換開閉器・限流抵抗・限流リアクトル・タップ選択器・伝達機構・電動操作機構・各種保護装置	6.4.11参照
9	無電圧タップ切換器	切換操作	1年に1回
		油漏れ点検	
		鎖錠装置点検	
10	窒素封入装置	窒素純度測定	6か月に1回
		封入装置点検	
11	コンサバータ	油漏れ点検	1年に1回
12	ブッシング	絶縁抵抗測定	1年に1回
		誘電正接測定	3年に1回
		油漏れ点検	1年に1回
		局部過熱点検	
		がい管の汚損, 破損	
13	送油ポンプ	絶縁抵抗測定	1年に1回
		入力電圧測定	
14	冷却用送風機	絶縁抵抗	1年に1回
		入力電圧測定	
15	水冷式冷却器	冷却水量測定	1年に1回
		水冷管点検掃除	3年に1回
16	温度計油面計	指示不良調査	1年に1回
		警報接点点検	
		指示板清掃	
17	保護継電器	動作確認	—
		制御回路点検	
18	放圧装置	放圧板点検	接点部分の動作を確認し、回路の絶縁抵抗を測定する。
		警報接点点検	
		漏れの点検	

表1－定期点検基準回数（続き）

No.	点検項目		回数	注意点
19	タンク	油漏れの点検		—
		塗装表面点検		
		耐震装置点検		
20	内部	内部点検	原則として行わなくてよい。	外部からの診断によって内部に異常ありと判断された場合、必要に応じて実施する。

6 保守・点検の基準

6.1 概要

変圧器の保守を完全に行うためには、変圧器の点検履歴を熟知し、日常の運転時にも異常音、異臭等に注意をはらって、変化を見逃すことなくその処置をすることが必要である。また、定期的に停止し、精密点検をすることも必要である。

日常点検及び定期点検によって、変圧器の劣化状態等を判定する。

変圧器は、本体のほか、絶縁油、冷却器、タップ切換装置等多くの部分から構成されており、それぞれの保守・点検の基準が必要である。

6.2 変圧器本体の絶縁検査

6.2.1 一般事項

変圧器は、特段、事故がなくても、使用経年中に次第に劣化し、やがて寿命に達する。この場合の変圧器の寿命は、言い換えれば絶縁物の寿命である。

変圧器の劣化判定、すなわち絶縁劣化を早期に検出し、突発的に起こる絶縁破壊事故を未然に防ぐために行う絶縁検査について6.2.2以降で述べる。

6.2.2 変圧器の絶縁劣化

6.2.2.1 一般事項

変圧器絶縁物の主な劣化原因には、6.2.2.2～6.2.2.5が考えられるが、これらの原因が単独で作用していることは少なく、重なり合って絶縁を劣化させている場合が多い。

6.2.2.2 熱による劣化

変圧器の発生する熱で絶縁物が酸化及び熱分解して起こるもので、絶縁油は絶縁耐力が低下し、固体絶縁物（紙、プレスボード等）は機械的強度が低下し、更には絶縁耐力も下がる。

6.2.2.3 吸湿による劣化

絶縁油及び固体絶縁物が大気中の水分を吸収して、絶縁耐力及び機械的応力が低下する。熱劣化を促進することもある。

6.2.2.4 コロナによる劣化

絶縁物に加わっている電界の強さが、ある程度を超えたとき発生するコロナによって起こるもので、絶縁物が炭化し、絶縁耐力の低下とともに、機械的強度も低下して劣化する。

6.2.2.5 機械的応力による劣化

短絡時の電磁機械力又は異常な振動若しくは衝撃によって固体絶縁物が機械的に破壊され、絶縁耐力が低下する場合で6.2.2.2～6.2.2.4の原因で機械的にもろくなっているものに機械的応力が作用して破壊される場合も多い。なお、絶縁油の劣化原因は、上記の他に大気中の酸素を吸収して起こる酸化現象がある。詳細は6.3.2を参照。

6.2.3 変圧器の劣化判定

6.2.3.1 一般事項

変圧器の劣化判定に最も関係があると考えられる諸特性としては、次のものが挙げられる。

6.2.3.2 絶縁抵抗

従来から絶縁劣化の検出法の一つとして、絶縁抵抗の測定が広く行われている。その許容値の目安を図10に示す。しかし、これは劣化の傾向を把握する一つの要素とはなるが、その測定値そのものでは正確な劣化度合いは把握できない。なお、絶縁抵抗は吸湿には非常に敏感であるから、吸湿度を知る目安にもなる。その許容値の目安を図10に示す。

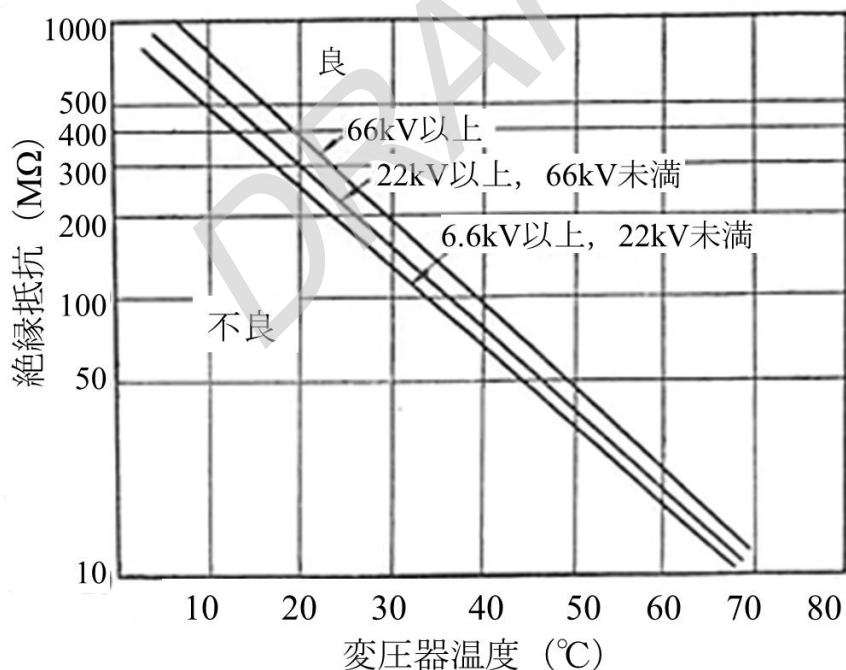


図10—変圧器絶縁抵抗許容値の目安
(1 000 V又は2 000 V絶縁抵抗計による。)

6.2.3.3 誘電正接 (tanδ)

tanδは、巻線（絶縁油を含む。）の吸湿に関係し、tanδの大きいものはほとんど絶縁抵抗値が大幅に低下する。変圧器の劣化判定基準としては、図11に示すtanδ—温度特性曲線が一般に採用されている。

6.2.3.4 吸収電流

高圧直流電圧を印加して、電流値の時間的変化の測定によって、絶縁の劣化を検出する方法である。吸収電流による劣化判定方法を新しいとき、すなわち納入時の記録と比較して判定する。製作当初の変圧器の吸収電流－時間特性の一例を図12に示す。なお、M-HLEは中圧印加、高圧低圧接地、L-HMEは低圧印加、高圧中圧接地、H-MLEは高圧印加、中圧低圧接地を意味する。吸収電流が時間に対して減少する程度は、絶縁物の吸湿によって変化し、吸湿しているほど電流の減衰は緩やかになる。

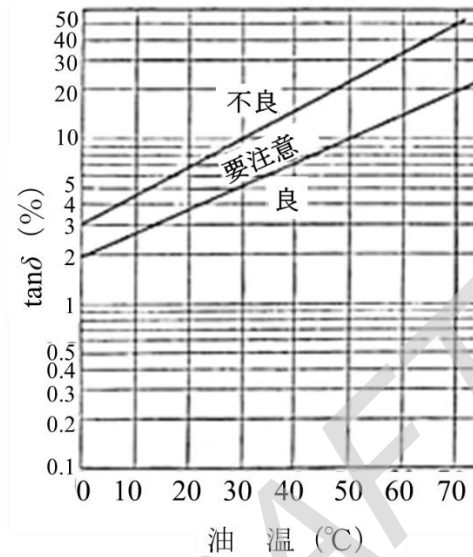


図11－変圧器のtanδによる劣化判定基準

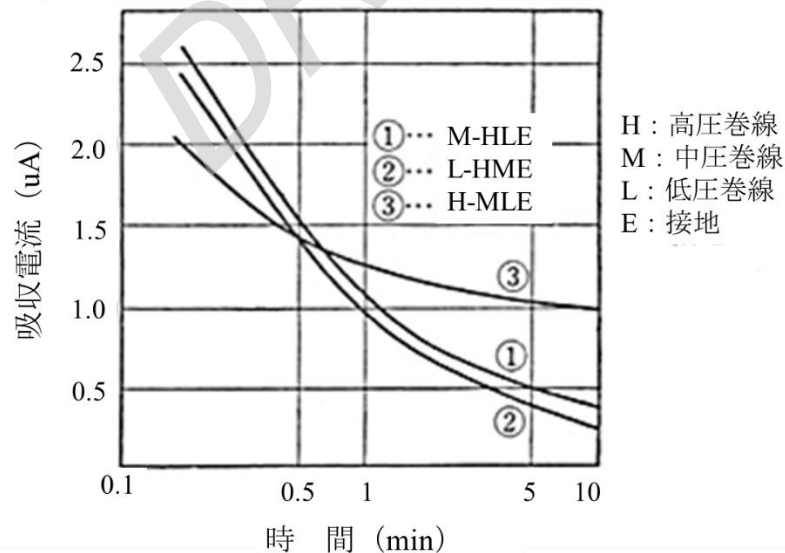


図12－変圧器の吸収電流－時間特性曲線の例

6.3 絶縁油

6.3.1 概要

変圧器の絶縁油は、鉄心と巻線との間、巻線相互間、及びその他充電部分の絶縁を保つこと、並びに鉄心、巻線等に発生した熱を、対流によって冷却装置のところまで導いて、冷却を行うために使用され、次のような諸特性が要求される。

- a) 破壊電圧が高いこと。
- b) 冷却作用が良い。すなわち、粘度があまり高くない。
- c) 精製されていて、金属に対する腐食性物質及び油の劣化の原因となる物質を含んでいない。
- d) 水分、及び繊維質等の浮遊物を含んでいない。
- e) 冬期に凍結しないように凝固点が低い。
- f) 蒸発量が少ない。

変圧器の製造技術の進歩によって、変圧器中身の点検は必要ないまでに信頼度は向上したが、油入変圧器における油の劣化管理は、運転の信頼性上、特に重要な保守項目である。絶縁油の劣化現象について6.3.2以降で説明する。

6.3.2 絶縁油の劣化

絶縁油は、使用中に次第に劣化する。劣化は、空気中の水分の吸収、不純物の混入等にも起因するが、最大の要因は酸化現象である。空気との接触によって絶縁油が酸化し、この酸化は変圧器の温度上昇、銅、鉄等の金属の接触作用、絶縁ワニスの溶出等によって更に促進される。

このほか、分解、重合等の化学反応によって油に溶けにくい物質が生じ、これが鉄心、巻線の上、タンクの内壁、タンクの底部等に沈積するようになる。この沈積した物質がスラッジと呼ばれるものである。スラッジは、破壊電圧には直接影響を及ぼさないが、巻線部分に析出したものは、油による冷却を妨げ、また、放熱器、タンク側壁等に付着して油の冷却を悪くする。また、油及び巻線の温度上昇を増加させて絶縁劣化を促進させる。

6.3.3 絶縁油の劣化防止法

6.3.3.1 一般事項

前述のように、絶縁油の劣化は、主として酸化によるものであり、これを防ぐ方法は、絶縁油と空気との接触をなくすことにある。酸化防止方法としては、主として開放形コンサベータが使用され、油と空気との接触面積を少なくするとともに、熱い油が直接空気に触れることを避けている。

なお、油の吸湿も油の劣化を促進させるので、吸湿を防ぐ方法としては、シリカゲル、活性アルミナ等を使用した吸湿呼吸器が利用されている。劣化防止法として、油面を薄膜で仕切り、油と空気とが直接接触しない構造、又は油面上に窒素を封入する構造のものが多数採用されている。

絶縁油の劣化防止法としては、次の四つに大別される。

- a) 開放形コンサベータ式
- b) 密封式 (6.6.1参照)
 - 1) 隔膜式
 - 2) 金属ベロー式
 - 3) 空気式又は窒素式
- c) 窒素封入式 (6.6.2参照)

d) 吸着剤式 (6.6.3参照)

図13に絶縁油の吸湿量と破壊電圧との関係を、図14に空気の溶解度と気圧の関係を、図15に絶縁油に溶解する水分と温度との関係をそれぞれ一例として示す。

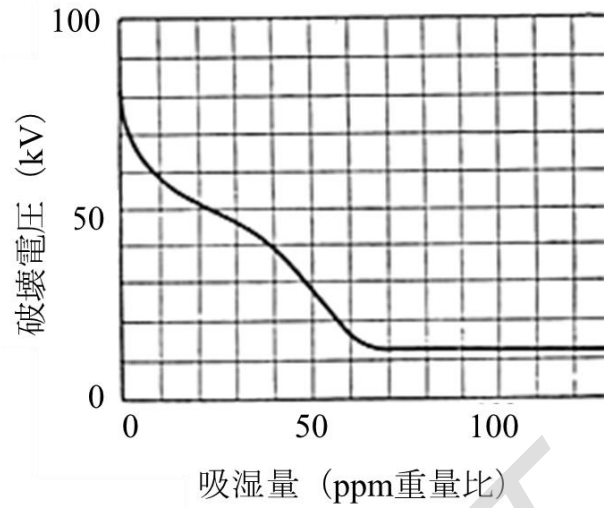


図13—吸湿量と破壊電圧との関係の例

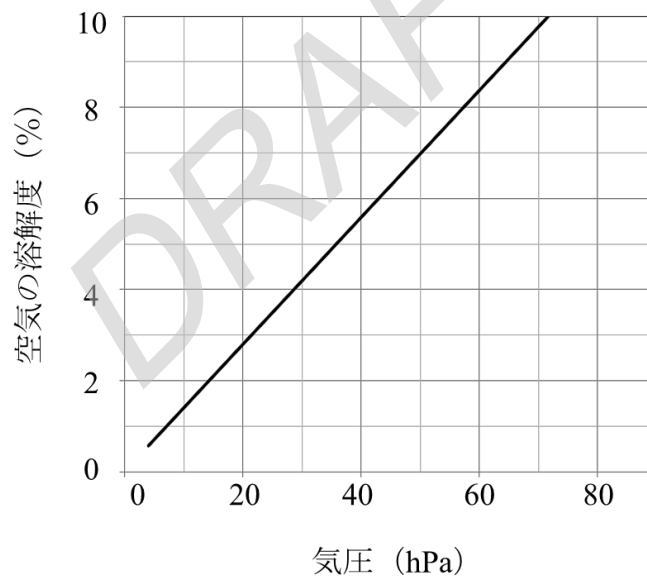


図14—空気の溶解度と気圧との関係の例

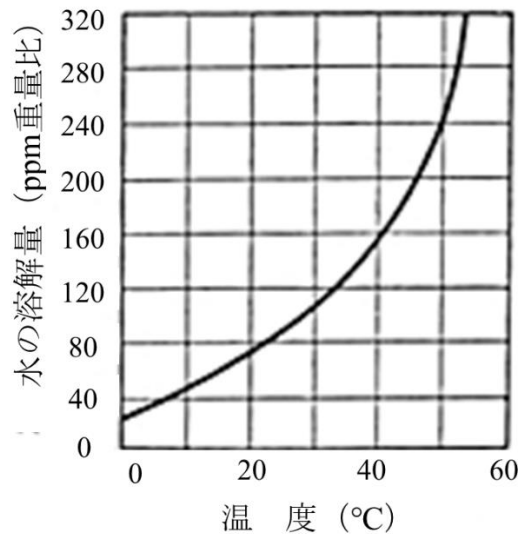


図15—絶縁油の溶解する水分と温度との関係の例

6.3.3.2 開放形コンサベータ式

この方式は、変圧器に使用する絶縁油の劣化を防止するために、変圧器タンクの上部に運転状態における絶縁油の膨張収縮による油の変化量に見合うだけの大きさの貯油タンク、すなわちコンサベータを設け、油の空気との接触する面積を小さくし、かつ、変圧器本体の熱油が直接空気に触れないようにしたものである。吸湿に対しては、更に吸湿呼吸器が附属される。

6.3.3.3 密封式

6.3.3.3.1 隔膜式

この方式は、コンサベータ内に耐油性ゴム等を用いて油を外気から完全に遮断し、油の劣化を防止する方法であり、ゴム膜の上下動によって油量の変化に対応する構造である。窒素封入式等の温度によって圧力の変化する方式と区別して、無圧密封方式と呼ぶこともある。

6.3.3.3.2 金属ベロー式

この方式は、密封式の一方式で、金属ベローを用いて油を外気から完全に遮断し、油の劣化を防止する方法である。

6.3.3.3.3 空気式又は窒素式

この方式は、主として中形及び小形の変圧器に採用される方式で、変圧器に油を充填した後、油面上に空間を残したり、又はコンサベータ内に空間を設けたりして窒素ガス又は乾燥空気を密封し、油温の変動をこの空間で調整する方法である。

6.3.3.4 窒素封入式

この方式は、変圧器のタンクの上部の空気の部分又はコンサベータ内部の空気の部分を不活性ガス（窒素ガス）で置き換え、油の酸化促進を防止する方法である。このため、窒素封入式に用いる油は、真空淨

油機によって処理する必要がある。

6.3.3.5 吸着剤式

この方式は、適切な吸着剤（例えば活性アルミナ）中に変圧器本体の油を熱対流させて、油中不純物を常時運転中に吸着剤に吸着させる方法である。

6.3.4 絶縁油の劣化判定

6.3.4.1 一般事項

絶縁油の劣化判定方法としては、従来から行われている破壊電圧の測定のほかに、酸価、体積抵抗率、 $\tan\delta$ 、界面張力等の測定がある。

保守上は、表1のとおり、破壊電圧及び酸価を測定し、これが異常な場合、更に性能試験を実施して判定する。確実に劣化度を判定したいときは、6.3.4.2～6.3.4.7の値を測定し、総合的に判断することが望ましい。次にこれらの諸特性及び相互関係について述べる。

6.3.4.2 酸価

酸価0.2まではスラッジの発生はほとんどないが、0.2以上になるとスラッジの発生が順次進行し、0.4程度を超えると急速に進行する。一般にいわれる劣化直線の一例を図16に示す。この図によると、ほぼ年平均0.02程度増加していくことになる。ただし、この値は、機器の形式、保守の程度、設置場所等によって相違があり、おおまかな傾向を示すものである。また、温度によっても大きく影響される。

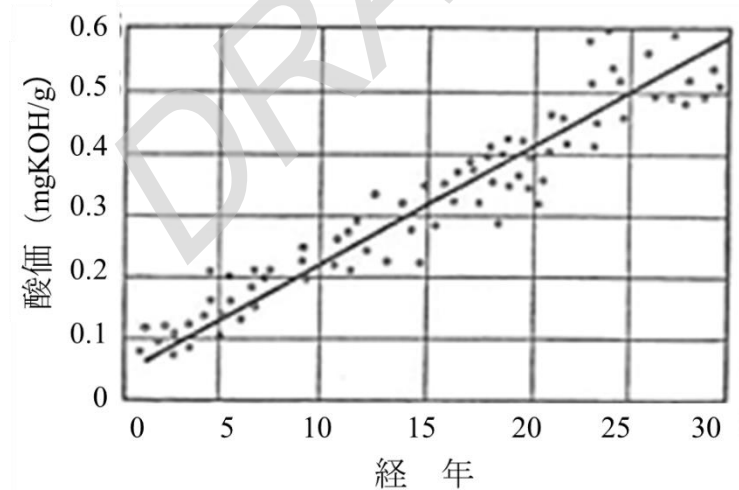


図16—絶縁油の酸価（開放形コンサベータの場合の例）

6.3.4.3 体積抵抗率

絶縁油の抵抗率は、変圧器の絶縁に直接、関係するもので、変圧器の絶縁抵抗値に大きく影響する。体積抵抗率も、変圧器の絶縁抵抗値に大きく影響する。体積抵抗率は、絶縁抵抗と同じく変圧器の温度上昇とともに低下する傾向がある。図17に絶縁油の体積抵抗率と変圧器の絶縁抵抗との関係の一例を示す。また、図18に油の酸価と体積抵抗率との関係の一例を示す。

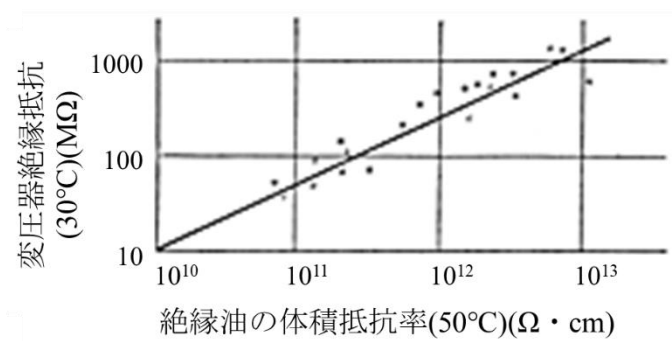


図17—絶縁油の体積抵抗率と変圧器の絶縁抵抗との関係

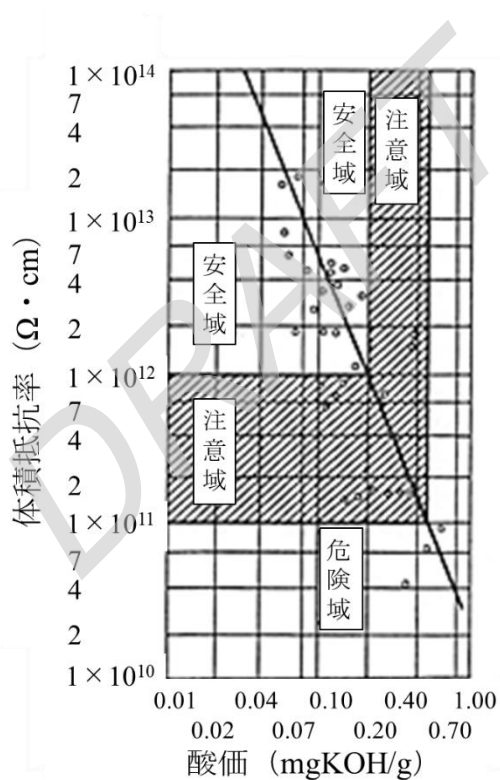


図18—絶縁油の酸価と体積抵抗率との関係

6.3.4.4 界面張力

絶縁油の劣化程度を調べる方法として、界面張力の測定がある。酸化の初期には界面張力の低下が著しく、酸化が進むにつれ一層低下する。

図19に界面張力と酸価との関係の一例を示す。

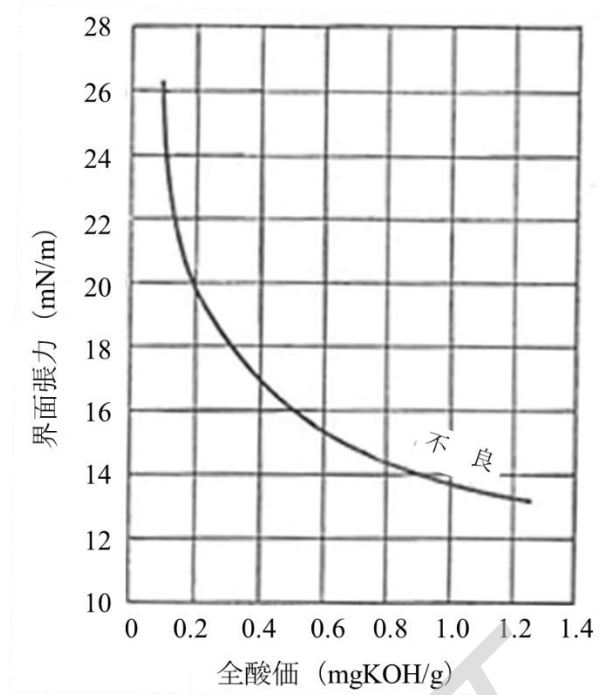


図19—酸価と界面張力との関係

6.3.4.5 絶縁破壊電圧

絶縁油は、変圧器の主要絶縁を果たすものであり、絶縁油の絶縁破壊電圧の低下は、直接、変圧器の絶縁破壊電圧の低下となって現れるので、よく監視しなければならない。JIS C 2320:2010では、絶縁油の絶縁破壊電圧値は、絶縁油の種及び号によっても異なるが、30 kV以上又は40 kV以上（JIS C 2101:2010の規定による電極間ギャップ2.5 mm）と規定されている。電圧の高い変圧器ほど、絶縁油の絶縁破壊電圧を高い値に維持することが必要である。絶縁油は、処理と保守を十分に行えば、破壊電圧を50 kV程度に保つことが可能である。また、破壊電圧は、油中の水分及び不純物の存在によって大きく影響されるので、絶縁破壊電圧だけでは、劣化の判定が困難なことがある。絶縁破壊電圧の測定は、採油及び測定の方法を特に注意して行わないと、測定値のばらつきが大きくなるおそれがある。

6.3.4.6 誘電正接 ($\tan\delta$)

$\tan\delta$ の測定は、絶縁油に限らず、絶縁材料の劣化判定に効果的な方法である。

$\tan\delta$ は、温度上昇及び吸湿とともに増大し、また、測定電圧が高くなるほど増大する。特に吸湿に大きく影響される（図20参照）。

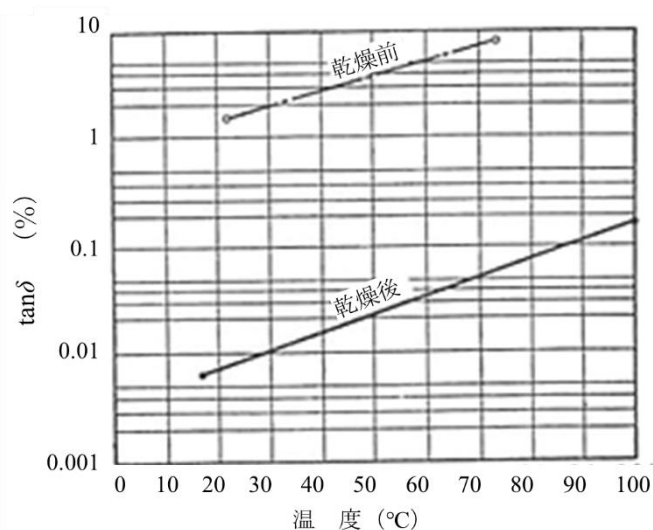


図20—絶縁油の $\tan\delta$ —温度特性曲線の例

6.3.4.7 引火点

絶縁油は、局部的でも高温にさらされると熱分解し、低分子成分ができて引火点が低下する。引火点は、JIS C 2320:2010では130 °C以上と規定されているが、この値を下回るとわずかな事故が発端となって油が発火し、ひいては爆発を起こすおそれがあるので、再生するか新油と交換する。

引火点が低下した絶縁油の再生方法には、硫酸処理法・蒸溜法等がある。いずれも現場では実施困難なので、再生は専門の業者に依頼するのがよい。再生後は、PCBの混入がないことを確認しなければならない。

6.3.5 絶縁油の採取上の注意

試料を採取する場合は、その試料に水分・ちり（塵）等の異物が混入しないよう十分注意して採取する。そうしないと、油の特性はこれらの少量の異物によっても大幅に変化して、試料の真値を測るのがむずかしくなる。

- a) **試料の容器** 油の特性に影響がないガラス瓶、缶等を使用する。
- b) **容器の保管** 容器は脱脂・洗浄し、十分乾燥して水分が入らないよう、よく密栓した上で保管する。容器には、水分・ちり（塵）・溶剤・さび・油・酸等が付着しないようにし、採取時には、試料油で1, 2度共洗いするとよい。
- c) **試料採取場所** 試料は、通常、本体の底部の油の検油又は排油弁から採取する。採取口が汚れているときは、油を流して洗い去った後で採取する。

6.3.6 各種測定及び試験法

- a) **絶縁破壊電圧・ $\tan\delta$ ・酸価・体積抵抗率・引火点等の測定** これらの測定は、JIS C 2101 :2010の規定による。
- b) **酸価の測定** 現場では、簡易酸価測定器によっても試験が可能である。この試験は試料5 mLを試験管に入れ、特定の抽出液1)を加え、約1分間振とう（盪）して油中の酸性成分を抽出する。これを特定濃度の中和液2)で中和し、その使用量から酸価を求める。

これは、酸価の0.2以上か以下か程度を知る目的のもので、目安測定法である。

注¹⁾ トルエン又はベンゼンを希釈液として使用する。

注²⁾ アルカリ溶液で主として水酸化カリウム (KOH) で1 mol/L, 0.1 mol/L等の数種の濃度のものを用意する。

- c) **アルカリ試験** アルカリ試験は、現場でも簡単に行える劣化判定法で、試料約5～6 mLを試験管にとり、ほぼこれと同量の5 %苛性ソーダ溶液を加える。これを三角フラスコに移して振盪しながら5～6分間加熱する。

次に、試験管に移して10～20分放置すると下部に苛性ソーダ溶液が沈み上部に油が浮きその界面に析出物が見られる。酸化の進んでないものは析出物がごく少ないが、その厚さが1 mm以上の油は、おおむね酸価が0.5以上で再生の必要がある。

- d) **界面張力の測定法** 絶縁油の水に対する界面張力を測定する方法である。この測定によって微量の可溶有極性不純物、酸性生成物等を鋭敏に検出することができる。絶縁油と水の間の界面張力とは、界面における絶縁油と水の分子間の引力であり、mN/mで表す。通常は25 °Cで測定する。測定法の詳細は、米国規格ASTM D971参照。
- e) **コロナ試験** 一般には実施されていないが、コロナ試験による劣化の判定方法がある。

6.3.7 劣化判定基準

劣化判定の基準値を次に述べる。

- a) **酸価** 酸価の判定に用いる絶縁油の基準は、表2によることが望ましい。

表2—酸価の判定

絶縁油の状態	判定基準
新品の絶縁油	0.02 mg KOH/g以下
超高压変圧器の絶縁油	0.2 mg KOH/g未満
33 kV以下の変圧器の絶縁油	0.3 mg KOH/g未満
負荷時タップ切替開閉装置の絶縁油	0.7 mg KOH/g未満
なるべく再生又は取り換えなければならない絶縁油	0.3～0.5 mg KOH/g
早急に再生又は取換えなければならない絶縁油	0.5 mg KOH/g超過

- b) **体積抵抗率** 酸価と体積抵抗率との関係を図18に示したように測定点のばらつきが大きいので判定基準は目安程度に考えるのがよい。表3に示す体積抵抗率は、むしろ水分・湿気の影響のチェックに有効である。

不良であれば早急に再生または取り換えを行い、要注意であれば経過を観察する。

表3—体積抵抗率 (50 °C)

良好	$1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 超過
要注意	$1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$
不良	$1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満

- c) **界面張力** 表4に示す界面張力は、絶縁油の劣化・汚損に対しては鋭敏な反応を示すので、劣化判定

に適している。

不良であれば早急に再生または取り換えを行い、要注意であれば経過を観察する。

表4—界面張力の目安

良 好 (スラッジの析出がない)	19 mN/m 超過
要注意 (スラッジが析出することあり)	16~19 mN/m
不 良 (スラッジが析出する)	16 mN/m 未満

- d) **絶縁破壊電圧** 絶縁破壊電圧は、表5のように規定することが望ましい。

表5—絶縁破壊電圧 (JIS C 2101:2010 電極間ギャップ2.5 mm)

電圧500 kVクラスの変圧器	50 kV 超過
電圧110~275 kVクラスの変圧器	40 kV 超過
電圧11~77 kVクラスの変圧器	30 kV 超過
負荷時タップ切換開閉装置の絶縁油	20 kV 超過

- e) **誘電正接 ($\tan\delta$)** 絶縁油の劣化判定法としてはあまり利用していない。むしろ6.2.3に述べたとおり、機器全体としての $\tan\delta$ を判定の基準にしているが、絶縁油自身としては表6が目安となる

不良であれば早急に再生または取り換えを行い、要注意であれば経過を観察する。

表6— $\tan\delta$

良好	1.25 %未満
要注意	1.25~5.0 %
精密検査を必要とする	5.0 % 超過

6.4 負荷時タップ切換装置

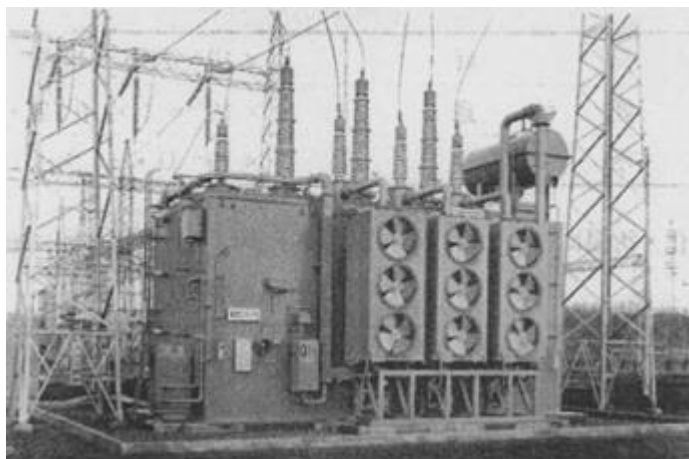
6.4.1 部品の名称及び分類

負荷時タップ切換装置の主要部は、タップ選択器、切換開閉器及び電動操作機構から構成される。タップ選択器は、その接触子が変圧器タップ巻線の各端子と接続されており、これを切換えることによって変圧器巻線の巻数比を変えることができる。

タップ選択器は、負荷電流を切換えるためのものではないので、別に、負荷電流の切換えだけを受け持つ切換開閉器が設けられている。電動操作機構は、タップ選択器及び切換開閉器に駆動力を与えるもので、通常、配電盤からの電気信号によって電動機を回転して駆動される。

タップ選択器及び切換開閉器は、大地とは絶縁されてタンク又は油槽内に収められている。タップ選択器は、通常、変圧器本体と同一タンク内に設置される。切換開閉器は、点検、交換が容易なように、常に変圧器本体とは隔離されている。その他に、タップ選択器と切換開閉器が一体となったものがある。

電動操作機構は、通常、タンク側壁に取り付けられ、これの駆動軸は、油密構造によってタンクを貫通して、タップ選択器及び切換開閉器に機械的に接続される。一例を図21に示す。



注記 100 MVA, 187/66 kV 三相送油風冷式変圧器。左端にあるのは負荷時タップ切換器の電動操作機構及び活線浄油装置

図21—負荷時タップ切換変圧器

負荷時タップ切換装置の構成の一例を**図22**に示す。負荷時タップ切換装置は、構造的に分けると次のとおりである。

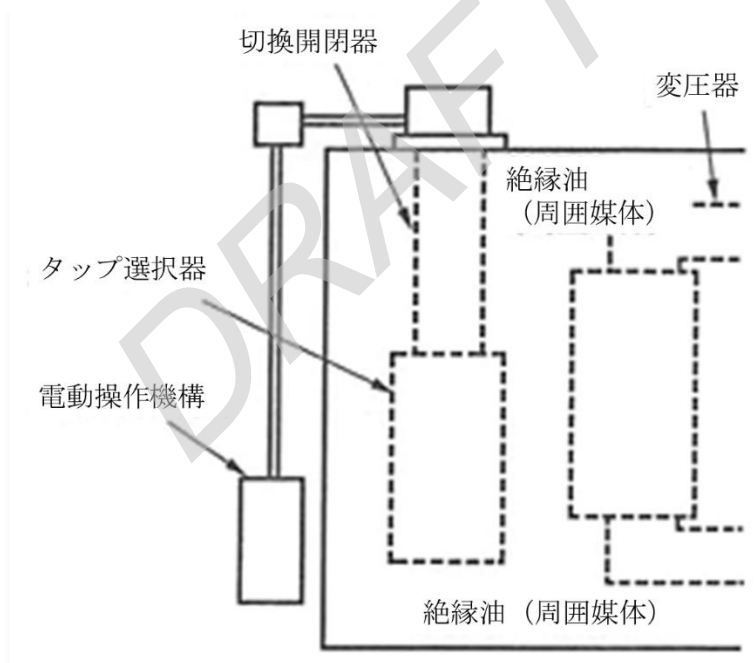


図22—負荷時タップ切換装置の構成の例

- a) **ブッシング形及び埋込形** ブッシング形とは、切換開閉器を絶縁がい管上の油槽内に納めたもので、がい管及び切換開閉器室は外部上部に露出している**〔図23 a)〕**。埋込形とは、切換開閉器を適切な支持絶縁物でタンク内につり下げたもので、外部には切換開閉器カバーだけが現れている**〔図23 b)〕**。

また、タップ選択器と切換開閉器が一体化になったタップ切換器をタンク側面に取り付けたものもある**〔図23 c)〕**。

注記 ブッシング形は、現状、設置済みのものが少数存在するだけで、新たに製造されているものは、ほぼ埋込形となっている。

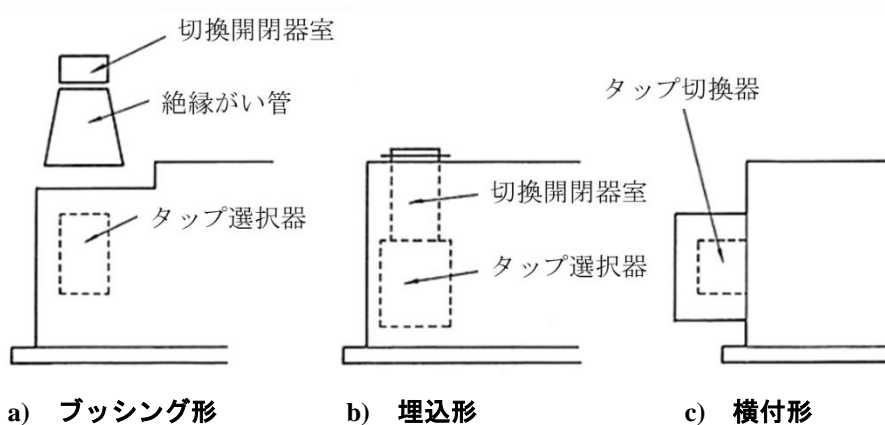
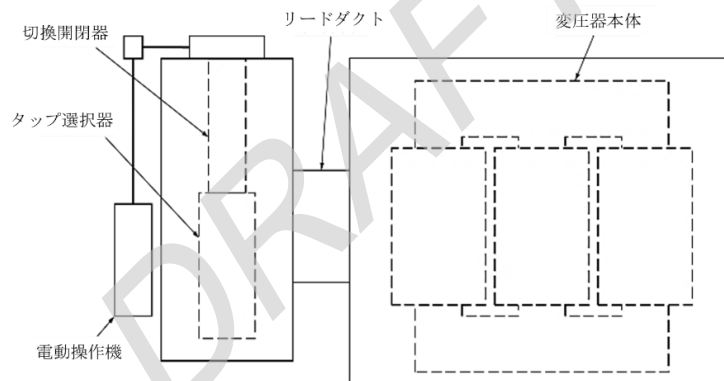


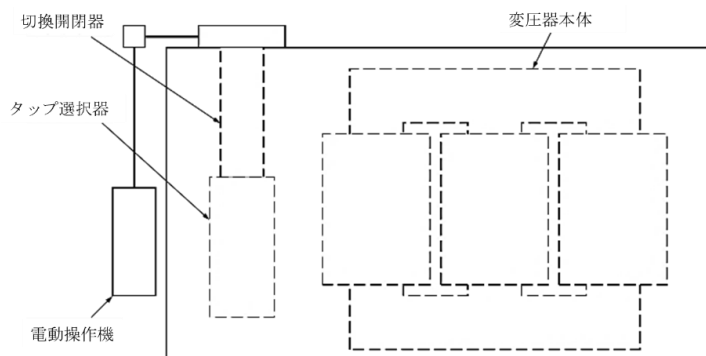
図23—ブッシング形・横付形と埋込形の例

- b) **別置タンク式及び共通タンク式** 別置タンク式とは、負荷時タップ切換装置と変圧器本体とをそれぞれ独立した油槽内に収めたもので、両者はリードダクトでつながれている。図24 a)にその構造の一例を示す。

共通タンク式とは、負荷時タップ切換装置及び変圧器本体を共通のタンク内に納めたものである。図24 b)はその構造の一例である。



a) 別置きタンク式

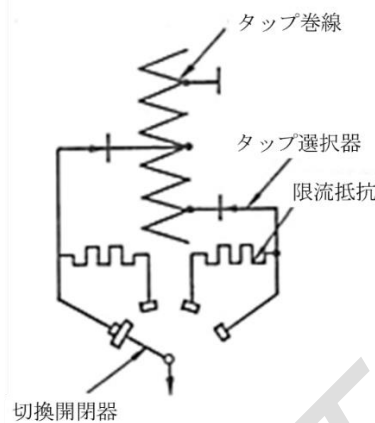


b) 共通タンク式

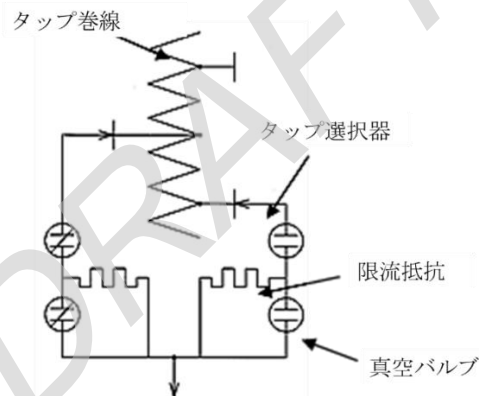
図24—別置きタンク式及び共通タンク式の例

- c) **抵抗式及びリアクトル式** 抵抗式とは、タップ切換時にタップ間に流れる横流を抵抗によって制限するものである。抵抗は、切換開閉器の近傍に取り付けられている[図25 a)][図25 b)]。リアクトル式とは、横流をリアクトルによって制限するものである[図25 c)]。

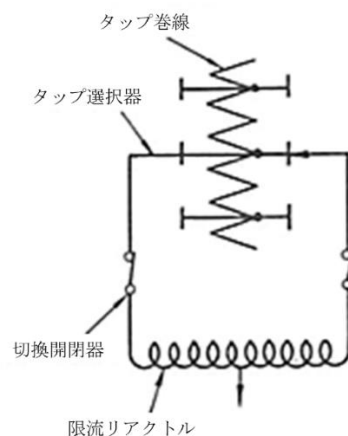
なお、負荷時タップ切換装置は負荷時タップ切換変圧器に用いられるだけでなく、直列変圧器及び電圧調整変圧器と組み合わせて、負荷時電圧調整器としても用いられるが、いずれの場合も負荷時タップ切換装置自身の構造は同じものである。



a) 非真空バルブ式の例



b) 真空バルブ式の例



c) リアクトル式の例

図25—抵抗式及びリアクトル式

抵抗式には、更に非真空バルブ式及び真空バルブ式の2種類がある。非真空バルブ式とは、電流を

開閉する接触子部分にアーク接触子を使用している[図25 a]。真空バルブ式とは、電流を開閉する接触子部分に真空バルブを使用している[図25 b]。

真空バルブ式は、接点消耗がほとんどなく、非真空バルブ式で問題となるアンバランスな消耗によるシーケンス不良が発生せず、切換アークによる切換開閉器内の絶縁油汚損がほとんどなく活線浄油機が不要となるといったメリットがあるため、2020年頃から主流となってきている。

なお、リアクトル式にも、接触子部分に真空バルブを使用するタップ切換器がある。

6.4.2 切換開閉器室の絶縁油

- a) **性能の点検** 切換開閉器室は通常は開放形なので、絶縁油の吸湿及び酸化の進行がやや早い。また、抵抗式（真空バルブ）以外の切換開閉器室の絶縁油は、開閉器切換時に発生するアークによってかなり汚れる。

絶縁油の劣化は装置の絶縁性能の低下をもたらし、炭化物等の堆積は機構の機械的な運動に対しても好ましくないため注意を要する。

切換開閉器室は通常は開放形なので、絶縁油の吸湿及び酸化の進行がやや早い。また、抵抗式（真空バルブ）以外の切換開閉器室の絶縁油は、開閉器切換時に発生するアークによってかなり汚れる。

絶縁油の劣化は装置の絶縁性能の低下をもたらし、炭化物等の堆積は機構の機械的な運動に対しても好ましくないため注意を要する。

劣化の場合は、切換開閉器室下部から採油した絶縁油の絶縁破壊電圧によって判定する。破壊電圧がJIS C 2101:2010の規定による“電極間ギャップ2.5 mmの電極で20 kV以下、酸価0.7以上”の場合には、ろ過して再生するか、新油と取り換える必要がある。絶縁油の破壊電圧値は、使用期間・切換回数及び遮断電流に関係して低下するから、運転開始からの切換回数が1万回程度までは記録を取っておき、破壊電圧値20 kVとなる時期を推定しておくといよい。

なお、破壊電圧値が上記の値にならなくても、切換回数1万回に一度程度の割合で絶縁油のろ過再生又は新油との交換を行うことが望ましい。絶縁油のろ過方法等は、変圧器本体油の場合と同様である。

上記は、主に電力用変圧器の場合であるが、電気炉用変圧器では一般に切換頻度が高いので、電力用変圧器よりも油のろ過再生作業を多く行うことが望ましい。

なお、アーク接触子を使用した負荷時タップ切換装置には活線浄油装置を附属させるケースが多く、変圧器の運転中に油ろ過を実施している。この場合も定期的に油の劣化度を測定することが望ましい。

- b) **日常点検** 日常の点検事項としては、切換開閉器室の油面、吸湿呼吸器の監視、及び漏油の調査が挙げられる。切換開閉器室と変圧器室との間の油密部が破損すると、油が両室の間を移動することがある。これによって、開閉器部が油面上に現れたり、切換開閉器室の油面が上昇したりする。また、切換開閉器室の汚れた絶縁油が変圧器室に浸入して、事故を起こすこともありうる。このような事故は切換開閉器室の油面の監視によって防げる。

吸湿呼吸器の吸湿剤には一般にシリカゲル又は活性アルミナが用いられている。これらの吸湿剤は、吸湿が進むにつれて変色するが、変色したものは、既に吸湿能力を失っているから乾燥品と取り換える。油漏れについては、配管部・切換開閉器室のガスケット部・油面計取付け部等に注意し、漏油が発見された場合は、速やかに補修する。

6.4.3 切換開閉器

切換開閉器は、負荷時タップ切換装置の中でも特に重要なものであるが、一般に外部からの日常点検はできないため、切換時に発する音響に注意し、異常に気が付いたときは、速やかに原因を探索して処置を

とる。

停電して内部を点検することが可能の場合には、カーボン、スラッジ等を除いた後、清浄な絶縁油でよく洗ってから次の点を調べる。

- a) **接触子** 非真空バルブ式の切換開閉器の接触子は、一般に常時通電を行う通電用接触子と、遮断時又は投入時にだけ通電を行うアーク接触子とから成る。アーク接触子には耐弧メタルが用いられており、この部分は切換えごとのアークによって消耗する。消耗の度合は切換回数及び遮断のときの条件によって異なるが、アーク接触子は荒れていても通電用接触子が健全ならばそのまま使用して差し支えない。接触子の使用限度は各製品について異なるが、**JEC-186:1972**及び**JEC-2220:1988**では、電氣的耐用切換回数を10万回又は20万回、**JEC-2220:2007**では、20万回と規定されており、これらの規格に準拠するタップ切換器では、規格に準拠した回数となっている。接触不良・接触子のチャタリング・投入不揃い等の原因となるため、接触面を研磨することは避けることが望ましい。研磨を実施する場合は、製造業者に相談することが望ましい。必要な場合には、製品に添付の説明書の指示によって接触子を取り換える。

非真空バルブ式の切換開閉器の接触子は、アーク接触子に代わり真空バルブを使用している。一般的に真空バルブ式の接点消耗量は非真空バルブ式に比べて少ないが、電氣的耐用切換回数は、**JEC-2220:2023**では、非真空バルブ式と同じ20万回としている。

- b) **機構各部** 切換開閉器の構造は、製造業者によって異なるが、その心臓部はばね又はカム等によって駆動される機構である。この部分は、長期間の使用に十分耐えるよう特に強固に造られている。出荷時には極めて高度の技術によって精密に調整されているため、現地で周到な準備なしに分解、調整等をする事は、不必要だけでなく極めて危険である。点検の際には、ボルト・ピン類の緩み・脱落・ばね類の張力喪失、電氣的接続部の断線、部品の折損又は異常な変形等がないかを調べる。一相分の接触子が数個に分割されている形式のものは、電流平衡リアクトルが設けてあるため導通試験を行い、巻線の断線、変形等の有無を調べる。絶縁物については、劣化している部分の有無を調べる。

なお、点検のために装置を一部取り外す必要がある場合には、組立時に取付ボルト・座金等の締め間違いがないよう特に注意する。

6.4.4 限流抵抗

限流抵抗は、抵抗式の負荷時タップ切換装置に用いられる。これは切換開閉器の頂部等に取り付けられており、日常点検はできない。分解点検の際は、カーボン、スラッジ等を清掃した後、抵抗体の変形・破損の有無を調べる。次に、抵抗及びリードの導通試験を行い、抵抗値が正規であることを確かめる。抵抗値は銘板に記載している。ただし、古い製品で記載されてなければ製造業者に照会する。端子の締付部等に緩みがあれば締め直す。絶縁物については、破損及び劣化の有無を調べる。

6.4.5 限流リアクトル

限流リアクトルは、リアクトル式の負荷時タップ切換装置に用いられる。共通タンク式の場合には、リアクトルは通常変圧器中身の横又は鉄心上部に配置されている。別置タンク式の場合は、リアクトルは変圧器室とは別の別置タンク内に納められる。点検に際しては、巻線及びリードの導通試験を行い、巻線の変形を調査し、端子締付部等の緩みがあれば締め直す。絶縁物については、破損及び劣化の有無を調べる。

6.4.6 タップ選択器

タップ選択器（**図26**参照）は、一般に、絶縁物の支柱又は支持板に固定接触子を取り付けられており、それを1個～数個の可動接触子でしゅう（摺）動してタップを選択する機構になっている。通常、共通タ

ンク式では、変圧器本体と同一のタンク中に納められており、別置タンク式では、別置タンク中に納められている。したがって、外部からの日常の点検はできない。

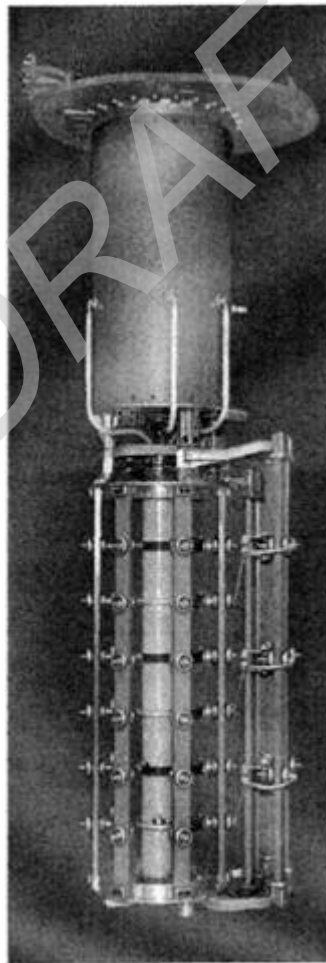
停電して内部を点検するときには、清浄な絶縁油で各部を洗浄した後、次の点を調べる。

タップの選択は無通電で行われるため、接触子にはアークによって損耗されることなく、しゅう（摺）動時の摩擦だけによって摩耗する。この摩耗量は極めて少量であり、通常は、接触子は変圧器の全寿命を通じて取り換える必要はない。しかし、接触不良によってアークを発生したり、極性切換器切換時に発生するフロート電圧によって極性切換器で放電したり、又は機構の不具合によってしゅう（摺）動が硬くなって接触子を傷付けたり、限定されたタップだけで切換えることによって特定のタップがひどく摩耗したりすることもありうるため、めっきが剥離し、地金が露出していないか、接触面に熔融の跡がないか、甚だしい摩耗部分がないか、及び金属粉による充電部間の橋絡のおそれがないかを点検する。

接触子間の接触圧力を与えるために通常はばねが用いられている。ばねの張力喪失、ばね、ばね軸等の折損、又は異常な変形がないかを調べる。

リードについて、導通試験を行い、断線がないことを確かめ端子締付ボルト等の緩みの有無を調べる。

絶縁物については、破損及び劣化等の有無を調べる。



注記 埋込形タップ切換装置の例で下部がタップ選択器で上部の円筒内に切換開閉器が入っている。

図26-タップ選択器の例

6.4.7 伝達機構

電動操作機構の駆動力は、伝達機構を経て、切換開閉器及びタップ選択器に伝えられる。電動操作機構は、タンクの外側に設けられているため、伝達機構は油密構造によってタンク壁を貫いている。タンクの外側の部分は日常の点検ができるが、内側部分にはできない。

伝達機構は、切換開閉器とタップ選択器との動作関係を設定する間欠駆動機構（カム、ゼネバ歯車等）及び軸・歯車・クラッチ・継手・軸受・タンク貫通部の封油軸受から成る。

また、配電盤にタップ位置を送信するためのシンクロ発信機を設けたものもある。

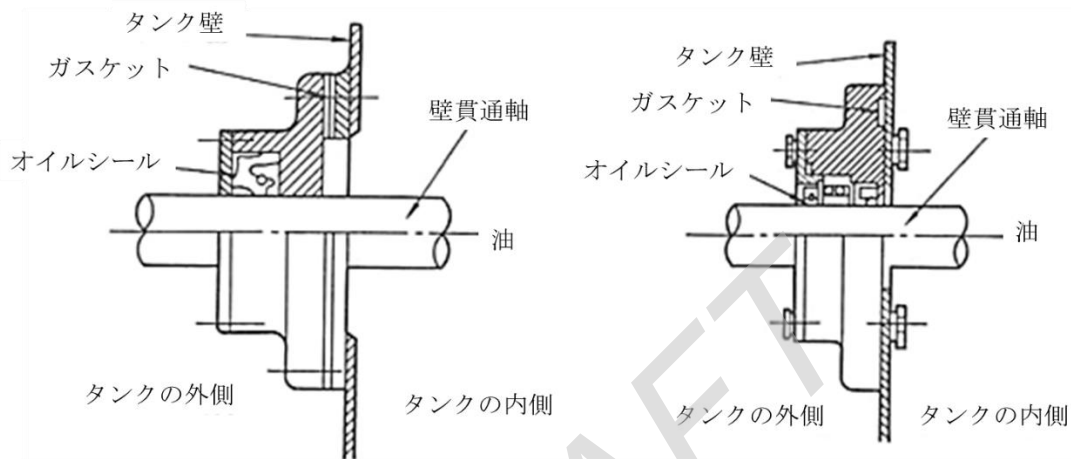


図27-タンク壁油密貫通部構造の例

日常の注意として、切換器切換時の音響に気を付け、異常なきしみ音等があれば発生箇所・原因を調べ、その重要性を考慮して適宜製造業者に照会することが望ましい。伝達機構がタンク壁を貫通する部分の油密部の構造例を図27に示す。運転中にこの部分のオイルシールが損傷し、油漏れすることがあるため、油漏れが発見された場合は、ガスケットを補修するか、新品と交換する。

また、最近ではオイルシールを2重構造として、切換開閉器室の油を抜かず外側のオイルシールだけ交換できるものもある。

タンクの外側部分の軸受には、通常1年間に1回給油を行う。グリースカップ式のものには、良質の軸受用グリースを補給し、グリースカップがないものには良質の機械油を油差しによって給油する。円滑な運転と発せい（錆）防止のため、伝達機構各部は1年間に1回、機械油を浸した布でよく拭き、ほこり等を拭う。また、この際歯車の歯面には、グリースを塗布する。これらの作業は、電動操作機構の電源を開いて行う。機構のタンク内側の伝達機構の部分には、給油不要である。

点検時には、機構連結部の緩み、又は締付用のボルト・ピンの緩み及び脱落がないかを調べ、部品の折損、異常な変形並びにカム、歯車等の摩擦面の著しい摩耗及び荒れの有無を点検し、異常があれば必要な処置をとる。タンク内側の部分は、カーボン及びスラッジを除き、絶縁油でよく洗浄する。

伝達機構は、電動操作機構とタップ選択器及び切換開閉器とを、定められた切換え関係を与えるような位置でかん（嵌）合しており、この関係が狂うことは重大な事故の原因となるため、点検時であっても、主軸結合部は分解してはならない。

6.4.8 電動操作機構

電動操作機構は、防水・防じん（塵）構造の鉄製箱に納められ、タンクの側部に取り付けられている。電動操作機構の一例を図28に示す。

構造は、製造業者によって異なるが、一般に、電動機、電磁制動器、減速歯車機構、電磁開閉器、ドラム形開閉器、制限開閉器、タップ位置指示器及び切換度数計から構成される。さらに、タップ位置の送信機をこの部分に納めたものもある。扉を開くと、操作電源が自動的に遮断される構造のものもある。

- a) **日常点検** 切換度数計の読みは、毎日一定の時刻に記録する。定負荷に対して日ごとの動作回数がほぼ一定ならば、電圧調整が順調に行われているとみなす。動作回数のばらつき及び動作頻度の過多は、継電器回路の調整又は整定の不良によることも考えられるため、チャタリングの有無等の調査検討も必要である。

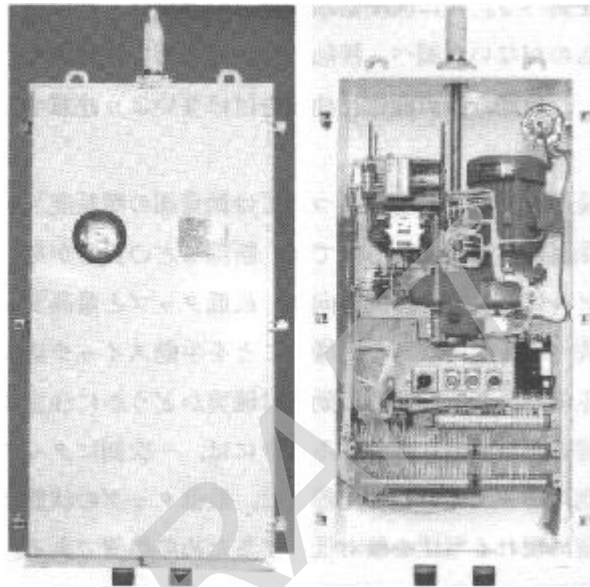


図28—電動操作機構の一例

- b) **タップ指示ずれの調整** タップ指示板の指示位置が正規位置から著しくずれている場合は、タップ渋滞・不正規停止のおそれがあるため、直ちに調査する。調査は変圧器を電源回路から切り離し、次の手順で行う。
- 1) 手動ハンドルによってタップ指示板を正規位置に戻す。
 - 2) 手動スイッチによって昇降両方に各1タップだけ操作する。
 - 3) 動作しない場合は、次の事項を確認する。
 - 3.1) 操作機構内の配電用遮断器のトリップ、ヒューズ溶断及び／又は短絡箇所がないか。
 - 3.2) 操作電源電圧が正常か（製品によって異なるが、定格電圧からの変動が10 %以内ならば差し支えない）。
 - 3.3) 電磁開閉器、電磁制動器及び制限開閉器回路に異常がないか。
 - 3.4) 各開閉器類の接点に異常がないか。
 - 3.5) 電磁制動器の動作に異常がないか。
 - 3.6) 手動ハンドルで操作してみて、著しく重くなる位置がないか。
 - 4) 切換えの途中で停止する場合は、次の事項を確認する。
 - 4.1) 制動器の摩耗と当たり具合に異常がないか。
 - 4.2) 各開閉器接点は正規位置で開閉するか。

4.3) ドラム形開閉器・電磁開閉器等の接点に不良はないか。

これによって故障箇所を発見して、適宜処置する。

- c) **給油** 操作機構動作時に発する音響には常に注意し、異常音を聞いたときには発生箇所及び原因を調査して適宜処置する。異常音は、軸受部の給油不足又は歯車、制動器シュー、電磁開閉器、接触子等の異常摩耗によることが多い。

操作機種各部への給油は、各製品に添付された説明書どおり、所定の場所に怠りなく行う。この際、電磁開閉器、ドラム形開閉器等のしゅう（摺）動通電部及び制動器シューに油滴がかからないよう、特に注意する必要がある。

これらの保守・点検は一般に操作機構電源を閉じた状態でもできるが、この場合には感電しないよう、また、油差し、ねじ回し等によって通電部を短絡しないよう気を付ける。回路の状態によっては、点検中に配電盤からの信号によって電動動作が開始することもあるため注意しなければならない。必要がない限り、操作機構の電源を開いておくことが望ましい。

- d) **定期点検** 内部を十分清掃して、電磁制動器の状態並びに電動機、制限開閉器及びドラム形開閉器の動作に異常がないかを調べる。特に開閉器類の接点の不良は、操作機構異常動作の原因となることが多いため、接触圧力に不適切なものがないか調べ、接触部は乾いた布で注意深く拭い、荒れが甚だしいものは細かいやすりで軽く研磨する。この際、接点面には油類を付けてはならない。損耗が激しい接点は新品と交換する。

配線については導通の良否を検査し、機構部については軸受部の摩耗度及びボルト・ピン類の緩み及び脱落の有無を検査する。ランプ、保温器等があるものでは、断線等の異常がないかを調べる。

点検後、手動ハンドルによって昇降両方向に、最低タップと最高タップとの間で1タップずつ切換えて、異常なく切換動作が行われるかを調べる。次にこれと同様のことを手動スイッチによって繰り返す。このとき、特に各タップの停止位置は正常か、制限開閉器の動作は確かかどうかに注意する。

変圧器を再び回路に接続するときには、一次側にタップがある変圧器では、最高タップの状態で電源を投入し、二次側にタップのある変圧器では、最低タップの状態で電源を投入することが望ましい。これは電源投入当初、二次側に現れる電圧を最も低くするための処置である。

なお、気中に設置された電動操作機構内の電装品については、使用環境及び経年による相応の劣化が生じるので、信頼性を維持するため定期的（約10年ごと）に新品と交換することが望ましい。

6.4.9 保護装置

負荷時タップ切換装置に用いられる保護装置としては、一般に油面低下警報装置、放圧装置、油圧又は油流継電器並びに渋滞警報装置等がある。

- a) **油面低下警報装置** 切換開閉器室用コンサベータに取り付けられ、その室の油面が漏油等の原因によって低下して危険になった場合に、浮子等の作用によって電気接点を閉じて警報を発する。この場合には、速やかに正規油面まで油を補給して、原因を調査する。
- b) **放圧装置** 切換開閉器室上部に取り付けられ、切換器室の圧力が異常に上昇した場合に、放圧ばね又は放圧板の作用によって圧力を開放し、装置の破壊を防ぐ。圧力上昇の原因としては切換開閉器室呼吸器の閉塞、異常アークの発生等が挙げられる。呼吸器閉塞の場合は、その原因を除き、放圧装置を元に戻し、そのまま運転を継続して差し支えない。異常アークによる場合は、放圧装置の動作と同時に黒煙が発生するのが一般的であり、このときは直ちに停電させて内部点検を行い、事故原因を調査する。
- c) **油圧又は油流継電器** 切換開閉器の上部に取り付けられた放圧装置の動作圧力よりも小さい圧力又は油流を捕捉し、警報を発する。この場合速やかに原因を調査する。

- d) **渋滞警報** 負荷時タップ切換装置は、切換途中で停止した場合に警報を発する。このときには、直ちに手動スイッチ又は手動ハンドルによって、タップを最寄りのタップ位置まで操作し、その後原因を調査する。渋滞の原因は、電動操作機構自身にある場合と配電盤側の指令回路にある場合とがあるので、いずれの原因かを調査し、電動操作機構自身が原因であれば、変圧器を電源回路から切り離して、6.4.8に記載した記した方法によって検査する。これが正常であれば、次の各部の動作に注意しながら、手動ハンドルによって1タップ切換えてみて、機構的な異常がないかを調べる。原因が判明したならば、適宜処置をとって、警報装置、電動操作機構等の接続を元に戻す。復旧困難な場合は、速やかに製造業者に連絡することが望ましい。電源を投入すると更に事故を大きくするおそれがあるため、軽率に電源を投入してはならない。

以上の各保護装置に動作不良があれば、誤警報を発したり、又は逆の必要の際に警報を発せず、事故を拡大したりするおそれがあるので、保護装置の定期的点検は怠ってはならない。点検時には、各部を清掃して、調整ねじ、ばね、継電器類の接点、電気的接続箇所及び絶縁物の状態並びにリード断線の有無を調べ、装置が設定された条件によって、正確に動作することを確認する。

上記以外の特種な保護装置が付いている場合は、製品に添付された説明書に従って取り扱う。

6.4.10 活線浄油装置

アーク接触子を使用した切換開閉器は、開閉時のアークによって浮遊カーボンが発生し、切換度数の増加によって絶縁油が汚損劣化するため、絶縁油の交換及び内部清掃を行う。活線浄油装置は、切換開閉器内の絶縁油を毎日一定時間運転浄油し、絶縁油中のカーボン、金属粉、スラッジ、水分等を除去するので、絶縁油の交換及び内部清掃頻度を減らすことが可能である。

活線浄油装置は、ろ材が目詰まりするので、ろ過圧力が製造業者の指定する圧力以上になった場合にろ材を取り換える。日常点検では、油漏れの有無・ろ過圧力の確認を行う。

活線浄油装置の構造の一例を図29及び図30に示す。

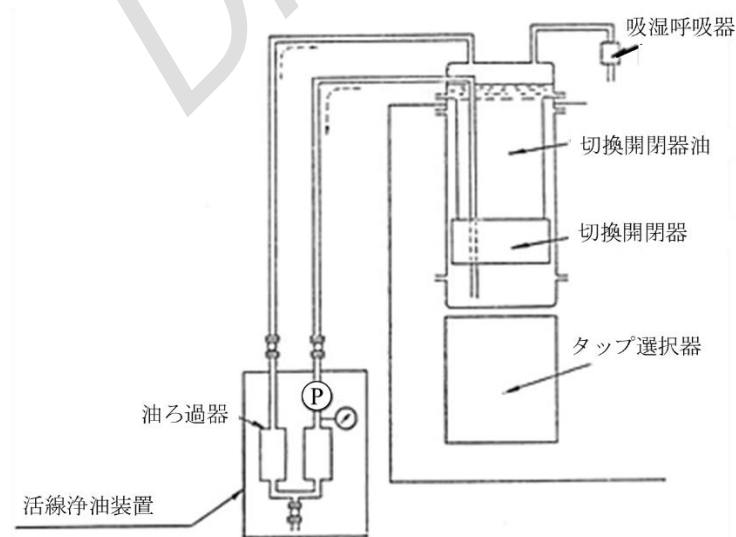


図29—活線浄油装置の使用例



図30—活線浄油装置外観の一例（画像提供：株式会社三美テックス）

6.4.11 点検を行う切換回数の基準

負荷時タップ切換装置各 부품の構造は、製造業者及び製作年度によって異なる。点検を行う切換回数は、製造業者の取扱説明書による。

6.5 無電圧タップ切換器

6.5.1 構造

無電圧タップ切換器（図31）は、変圧器を無電圧状態にした後、タップを切替えるもので、切換部及び操作装置から成る。

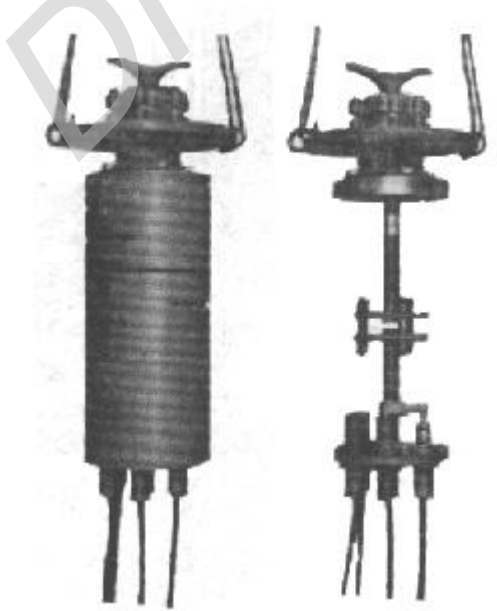


図31—無電圧タップ切換器（プラグ形タップ切換器の一例）

6.5.2 切換部

切換部は、固定接触子と可動接触子から構成される。固定接触子は、変圧器巻線の各タップに対応して絶縁支持柱等に取り付けられており、それを可動接触子が移動してタップを選択する機構となっている。

取付け場所は、変圧器内にあるので、日常点検は不可能である。切換部が接触不完全であり、過熱するときは、その付近の油が炭化し、その固形スラッジによって切換えが困難になることもあり得るため、点検の際には、切換え操作を繰り返して外部から接触圧力及び円滑性を調べる。

変圧器の中身つり上げ点検時には、絶縁油によって各部を洗浄した後、次の点を調査する。

タップ切換えは無電圧で行われるため、接触子はアークによって消耗することはなく、タップ切換え時の摩擦だけによって摩耗する。この消耗は極めて少なく、通常、接触子は、変圧器の全寿命を通じて取り換える必要はない。ただし、接触不良によってアークを発生したり、機構の不具合によってしゅう（摺）動が堅くなって接触子を傷付けたり摩耗したりすることもあり得るため、接触面に汚損、スラッジ又は溶融の跡がないか、並びに傷若しくは著しい摩耗がないかを点検する。また、接触子間に接触圧力を与えるためにばねが用いられているものは、このばねの張力の減衰又は不均一、及びスプリング軸の折損又は異常な変形がないかを調べる。そのほか、ボルト・ナット等の緩みがないかを点検する。

6.5.3 操作装置

一般には、タップの数も少なく、また、切換え頻度も少ないので、切換器の操作軸に直接操作ハンドルを取り付け、タンクカバーの上で切換える構造になっている。

操作軸は、油密構造によってタンクカバーを貫通している。この貫通部分は、合成ゴム等のガスケットが使用されているが、長い期間、操作（回転）することによって押え金具の緩み又はガスケットの内面が摩耗して、この部分から絶縁油がにじみ出ることがある。しかし、外部への漏油はハンドルカバーの平形ガスケットで阻止されているため、変圧器の運転には差し支えなく、日常点検の際にはこの平形ガスケットの部分に漏油がないか確認する。

タップ切換時、ハンドルカバーを開いたときに操作部分からの漏油が確認された場合、その程度によって押え金具の締付け、又は油面を一旦タンクカバーの下まで下げてガスケットの取換えを行う。

操作を地上において行うもので、操作装置に遮断器と連携をもつスイッチが取り付けられ、タップ切換えを行う際に自動で遮断器回路が開路されるようになっている操作装置の定期点検の際には、この自動操作が行われているかどうかを確認する。

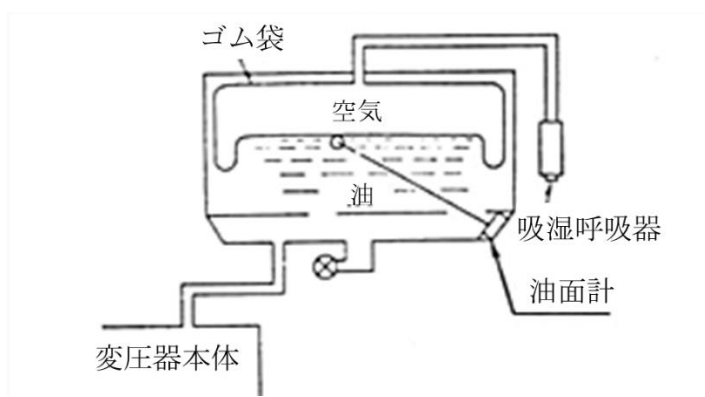
6.6 油劣化防止装置

6.6.1 密封式

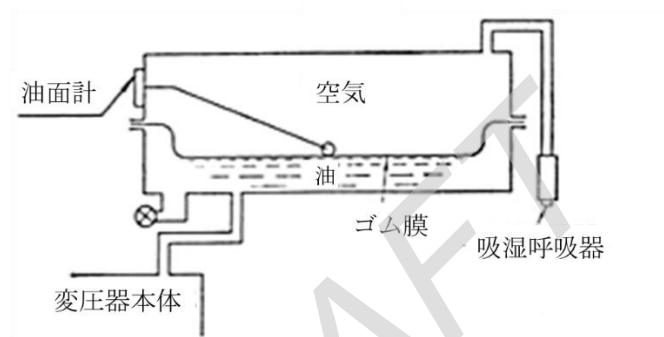
密封式には、隔膜式、金属ベロー式及び空気密封式がある。保守上の参考のため、これらの性能間の相違を記載する。なお、隔膜式及び金属ベロー式は、新しくは作られていない。

- a) **隔膜式** (図32参照) 図32 a)はゴム膜が袋になっている構造で、図32 b)はゴム膜で空間が区切られている構造である。ゴム袋の膨張収縮、及びゴム膜の上下移動によって、それぞれ油量の変化に対応する構造になっており、伸縮部分又は折り曲げ部分が破損しないように十分配慮した構造となっている。万一ゴム膜が破損した場合に、空気がガス検出継電器に入り警報を発する構造となっているものもある。保守上は、油面計の読みに注意し、読みが油温との関係銘板により使用範囲から外れていないか確認する。
- b) **金属ベロー式** (図33参照) 油量の変化に応じて金属ベローが膨張、収縮を行うもので、金属ベロー

の中には油が充満している。保守上は、金属ベロー部の油漏れがないか確認する。



a)



b)

図32—隔膜式の例

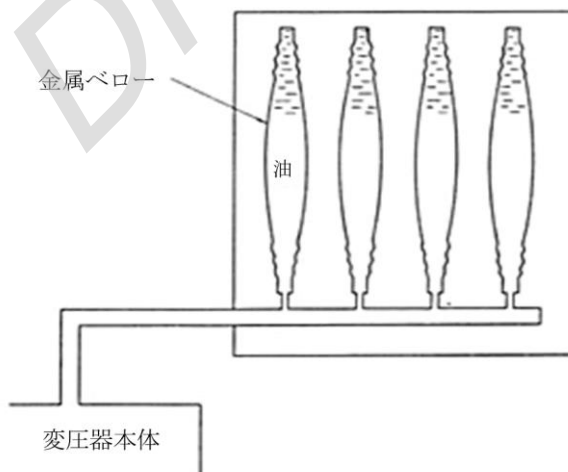


図33—金属ベロー式の例

c) 空気密封式

タンク上部空間又はコンサベータの空間に乾燥空気を密封し、油温変化による油面の変化を調整するものである。保守上は、油面計及び圧力計の読みが油温との関係銘板により使用範囲から外れていないか確認する。

6.6.2 窒素封入式

a) 窒素封入式の種類

窒素封入式には、代表的なものとして次の方式がある。保守上の参考のため、これらの性能間の相違を記載する。

- 1) **三室式** (図34参照) コンサベータを3室としたもので、窒素ガス純度の低下が比較的速く、保守上はガス漏れ及び吸湿呼吸器の劣化の有無を確認する。
- 2) **自動ガス供給式** (図35参照) ガス室に窒素ポンペを減圧弁を通して接続したもので、窒素ガスを自動的に供給・放出する構造となっている。保守上は、減圧弁の故障又はポンペ口金からの漏れの有無を確認するとともに、圧力計の読みが設定数値の範囲内にあるかどうかを確認する。
- 3) **窒素密封式** (図36参照) この方式は、油漏れ、ガス漏れがなければ大気の侵入は皆無で、酸素の拡散現象もない。保守上は、ガスケット部分からの漏れの有無を確認する。連成計の読みを記録することによって、ガス漏れを容易に判定することが可能である。
- 4) **浮動タンク式** (図37参照) 別置タンク内の浮動タンクが油量の変動に対して昇降する。保守上は、浮動タンクの昇降及び圧力計の読みを確認する。
- 5) **袋式** (図38参照) 油量の変化による窒素ガスの変化を別置の合成ゴム袋の膨張によって調整する。保守上は、袋の凹凸状況、異常圧力放出用の放出器の点検をして異常の有無を確認する。

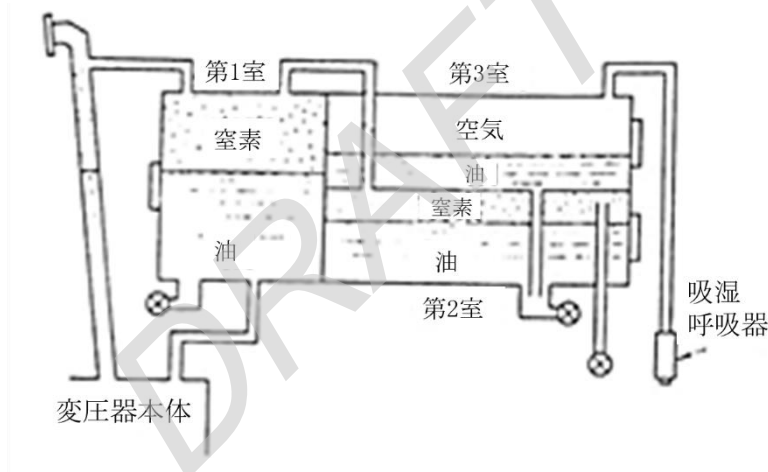


図34—三室式の例

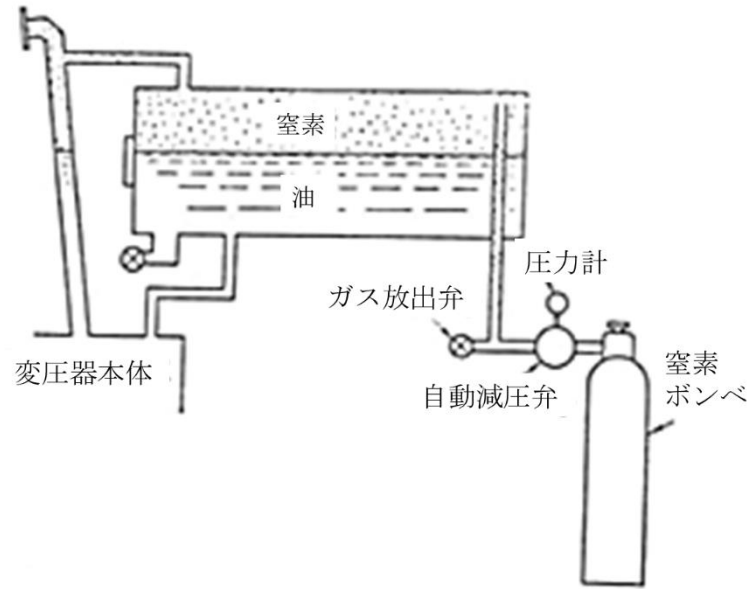


図35－自動ガス供給式の例

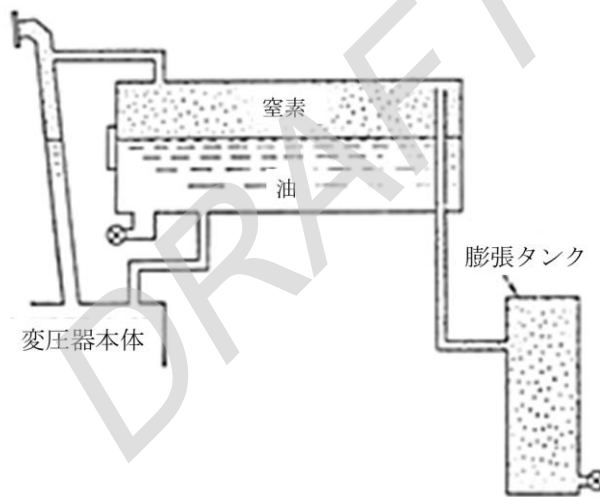


図36－窒素密封式の例

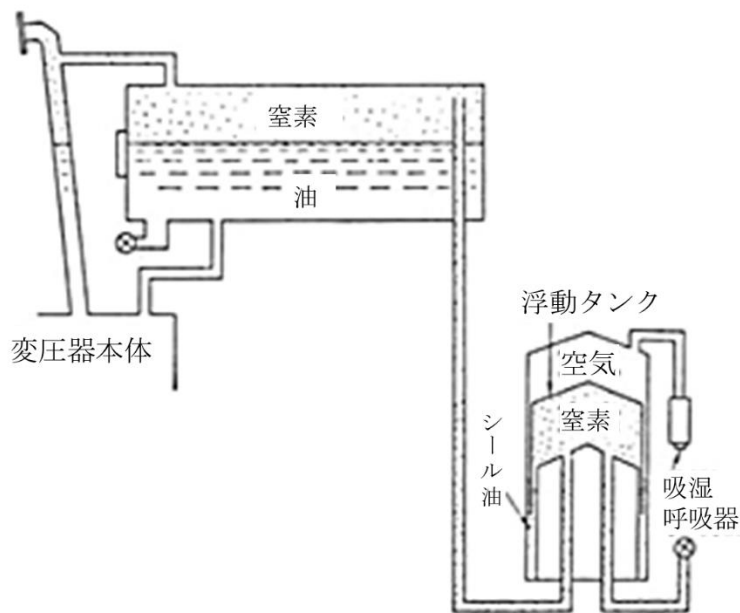


図37—浮動タンク式の例

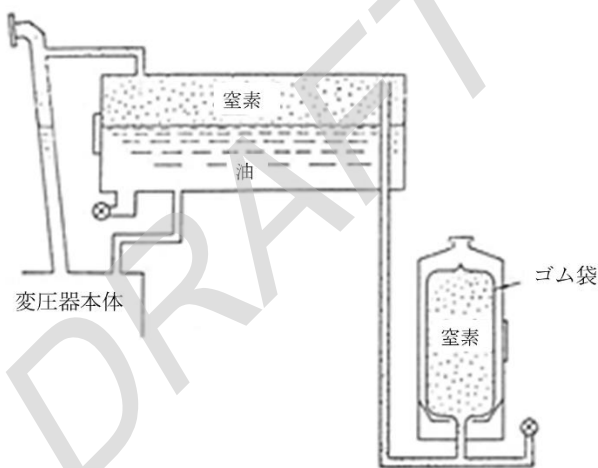


図38—袋式の例

b) 脱気油の注油

窒素封入式油劣化防止装置を備えた変圧器に油を注入する場合には、油中に溶解した水分及び空気を除去した、いわゆる脱気油を使用する。

注油方法としては、タンクを真空ポンプで真空に引き、真空脱気装置で油中に溶存しているガス、水分等を除去しながら注油する真空脱気注油法があるが、未脱気油をそのまま注油した場合、油中の酸素が窒素ガス内に逆に放出され、ガス純度を低下させるため、脱気油を使用する。

脱気注油後の絶縁油の特性は、表7のとおりでなければならない。

表7—絶縁油の保守管理基準値

測定項目	管理値 (推奨値)		
	11~77 kV	110~275 kV	500 kV
絶縁破壊電圧 (電極2.5 mm) kV (JIS C 2101:2010 電気絶縁油試験方法に準拠)	>30	>40	>50
水分 ppm	<40	<30	<20
酸化 mg・KOH/g	<0.2	<0.1	<0.1
体積抵抗率 (80 °C) (1.0×10 ¹²) Ω・cm	>1.0	>1.0	>5.0

c) 窒素ガスの純度維持

窒素ガスの純度を維持するためには、次の点に注意する。

- 1) **純度** 窒素ガスは、窒素ボンベに充填したものをを用いるが、これが高純度でないと窒素封入の意味がなくなる。この純度は、99 %以上のものを使用する。
- 2) **ガス漏れ** 圧力計の読みに注意し、一定期間ごとに油温とガス圧との関係を記録する。油温が変化してもガス圧が変化しない場合は、ガス漏れがあると考えて調査する。ほかに原因がないのに減圧側のガスの圧力が上昇する場合は、減圧弁の故障と考えられるので、その場合は窒素の供給を中止し、調査する。

なお、真空脱気注油した場合、窒素ガスを封入した変圧器では、使用開始初期の間、窒素ガスが油中へ溶解するため、ガス圧力が低下し、ガス漏れと混同する場合がある。このような場合には、適切な窒素ガス飽和装置があればこれを利用し、油を窒素ガスで飽和させておく。なお、その場合の窒素ガスの溶解度は温度、圧力等の条件で異なるため、飽和にならない溶解度にして注油する。窒素の最大溶解度は、**図39**のとおりであるが詳細は窒素飽和装置の製造業者と相談する。

- d) **純度の測定** 装置及び配管系統の密封の不完全等によって起こるガス漏れ、又は吸気等によって窒素ガスの純度は急激に低下する。

窒素ガスの純度測定は、定期的に半年に1度程度実施する。ただし、使用開始後1か月間ぐらいは前記のガスシールの不完全、又は油中酸素の析出等の原因によって窒素の純度が低下することがあるため、まず温度と圧力の変化に注意を払い、異常な場合は窒素の純度を測定し、測定の結果、純度が95 %以下になったときは窒素ガスを入れ換える。

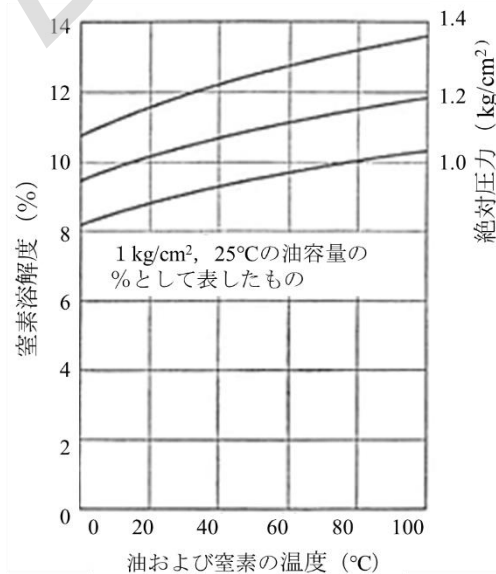


図39—窒素の最大溶解度の例

純度の測定方法は、一般にオルザートガス分析器（図40参照）又は小形軽量なポータブル形ガス分析器（図41参照）を用いた方法がある。

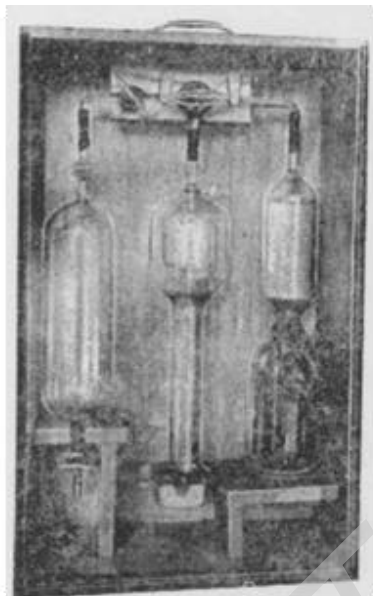


図40—オルザートガス分析器の一例



図41—ポータブル形ガス分析器の一例

- e) **窒素ガスの封入** 窒素ガス純度測定の結果、純度の低下が甚だしいときは、原因を調査し、補修してから窒素を入れ換える。封入方法は、次による。
- 1) **真空封入法** 油面上のガス空間を真空に引いた後、窒素ガスを封入する方法で、ガス純度が高く、保持される最良の方法である。
 - 2) **置換法** タンク及びコンサベータにあふれるまで注油し、次に製造業者が指定する油面まで油を抜きながら窒素ガスを封入する方法である。したがって、この方法では、製造業者が指定する油面よりも多い油が必要になる。
 - 3) **吸込み法** 製造業者が指定する油面まで注油し、ガス空間を大気に開放させ、他の部分から窒素ガスを吹き込んで空気を追い出し、徐々に窒素ガス純度を上げていく方法である。この方法では、窒素ガスは封入量の3～4倍を必要とする。

2)及び3)の封入方法は、タンクが真空に耐えない場合又は真空引き装置のない場合に使用されるもので、できるだけ1)の真空封入法を採用するのがよい。

6.6.3 吸着剤式 (図42)

適切な吸着剤 (例えば、活性アルミナ) 中に変圧器本体の油を熱対流させて、油中の酸素、水分等を常時運転中に吸着剤に吸着させる方法である。酸価の上昇程度等で吸着剤が不良になったときを判断して、必要に応じて再生する。

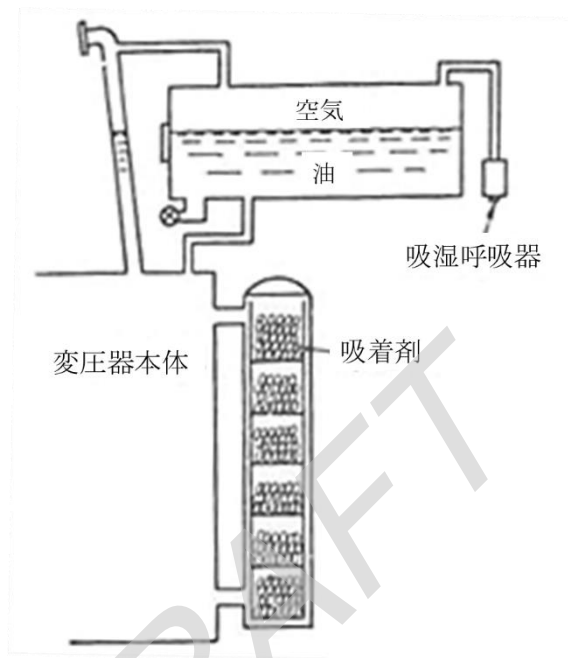


図42—吸着剤式の例

6.7 ブッシング

6.7.1 ブッシングの種類

絶縁構成別にブッシングの種類を分けると、次のようになる。

- a) 単一形ブッシング 端子の電圧が34.5 kV以下の変圧器に広く用いられ、電流は30 000 A程度までである。構造は、図43に示すように中心導体を上から下まで1本でできているがい管内に収納し、内部空間に絶縁油を封入した構成をしたものである。

絶縁機能は、主として磁器がい管に依存している。内部には中心導体表面に絶縁を施し、内部空間に絶縁油を入れて内部コロナ発生電圧を向上させたものもある。用途としては、気中—油中用及び気中—気中用が一般的である。

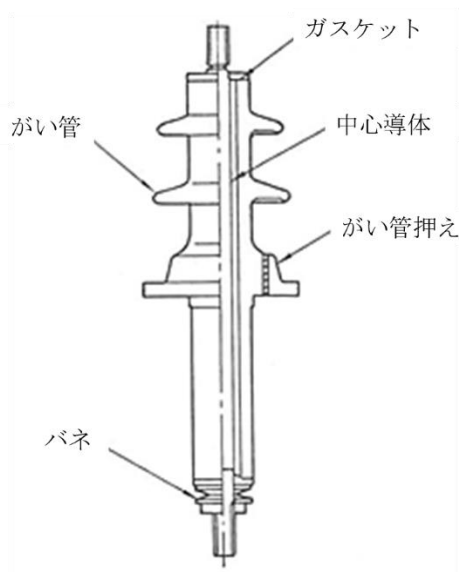


図43—単一形ブッシングの構造の例

- b) **油入ブッシング** 電圧15 kV～287.5 kV程度に用いられ、電流は4 000 A程度までである。構造は図44に示すように、上部がい管・支持金具・下部がい管と中心導体との間に、電圧に応じて数個の絶縁筒を同心円筒状に入れ、中に絶縁油を封入して構成したものである。

絶縁機能は磁器がい管、絶縁筒及び絶縁油に依存しており、絶縁物及び絶縁油による、いわゆる複合絶縁となっている。ブッシングの電位分布をよくするために円筒状のシールド環を電圧に応じて1個～3個配置している。

今日では、電圧77 kV以下でわずかに製作されているにすぎないが、運転されているものは多数ある。

過去には、絶縁油の代わりにコンパウンドを用いたコンパウンド詰めブッシングがあったが、ほとんど見られなくなった。

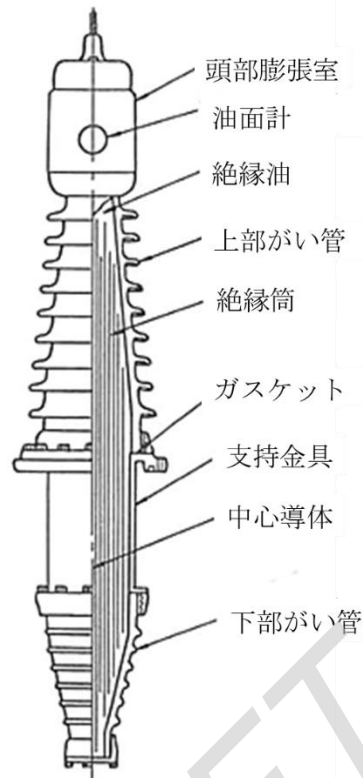


図44－油入ブッシング構造の例

- c) **コンデンサブッシング** コンデンサブッシングは、中心導体の周りに絶縁紙及びレジン紙を巻き、その中に多数のコンデンサはく（箔）を同心円筒状に巻き込んだコンデンサコアをもつ。コンデンサはく（箔）の長さ及び挿入直径を最適に選び、はく（箔）間の静電容量を調整することによって、それぞれのはく（箔）間の電位を制御することが可能である。したがって、軸方向又は径方向の電位分布が改善されるため、ブッシングの直径は細くなり、フラッシュオーバー電圧が高く、さらに耐塩害特性も向上する。コンデンサブッシングには、油浸紙コンデンサ形及びレジン紙コンデンサ形がある。
- 1) **油浸紙コンデンサブッシング** 電圧34.5 kV以上で最も多く製作されているもので、電流は8 000 A程度までである。構造は図45に示すように、がい管及び支持金具に囲まれた中にコンデンサコアを入れ、中に絶縁油を封入したものである。絶縁機能の主要材料として油浸紙を使用し、油入ブッシングの絶縁機能である絶縁筒をコンデンサコアに置き代えたものである。コンデンサコアの製作は、一般に幅広の良質クラフト紙を中心導体に巻きながらコンデンサはく（箔）を挿入し、巻き終わった後、高真空で乾燥させる。完全に脱気した絶縁油を真空注油するため、絶縁に対して極めて高い信頼性をもち、長寿命が期待できる。コンデンサコアが長大で、通常の紙幅では製作不可能な場合、テープ状の絶縁紙を中心導体から旋状に巻き付ける方法、及び幅広の紙を突き合わせて巻き付ける方法がある。膨張室は、絶縁油の熱膨張による内圧上昇を緩和させるための十分な容積をもち、絶縁油の劣化防止のため、窒素ガスを封入してある。

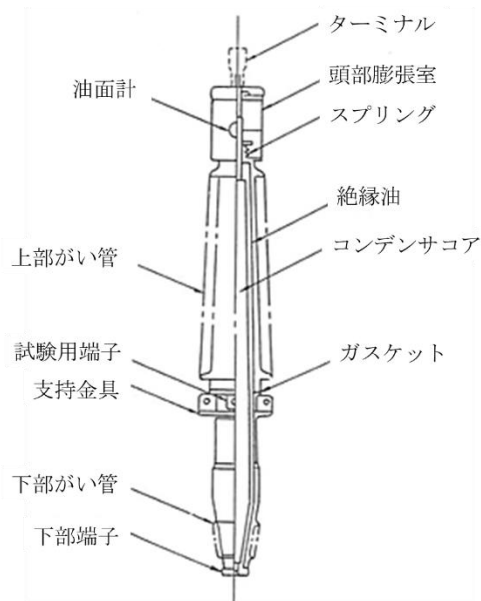


図45－油浸紙コンデンサブッシングの構造の例

密封構造は、がい管端面と金属部品との接合部に耐候性及び耐油性に優れた合成ゴム、又はゴム入りコルクのガスケットを溝にはめ込み、膨張室内にセットしたスプリングの反発力によって全体を圧縮して密封する、いわゆるセンタークランプ方式を取るのが一般的である。

- 2) **レジン紙コンデンサブッシング** 電圧34.5 kV以上に多く用いられ、電流は3 000 A程度までである。構造は図46に示すように、絶縁機能の主要材料としてフェノール系樹脂、エポキシ樹脂等の乾式固体絶縁を使用したコンデンサコアに、がい管をかぶせて内部空間に絶縁油を封入したものである。コンデンサコアの製作は、幅広のクラフト紙の片面に樹脂を塗布した、いわゆるレジン紙を温度及び圧力を加えながら中心導体に巻き付ける方法、及び幅広のクラフト紙及びクレープ紙を中心導体に巻き取った後、樹脂を真空含浸させる方法がある。各々を区別して、前者をレジン紙コンデンサ形、後者をレジン含浸紙コンデンサ形という。コア成形の過程でコンデンサはく（箔）を形成するのは、油浸紙コンデンサ形と同じである。このブッシングのコンデンサコアは、固体絶縁物であるため、屋内使用及び油中使用の場合、がい管を必要としない。屋外使用の場合、気中側がい管をかぶせ、耐候性、耐吸湿性及び注水時の耐電圧をもたせている。

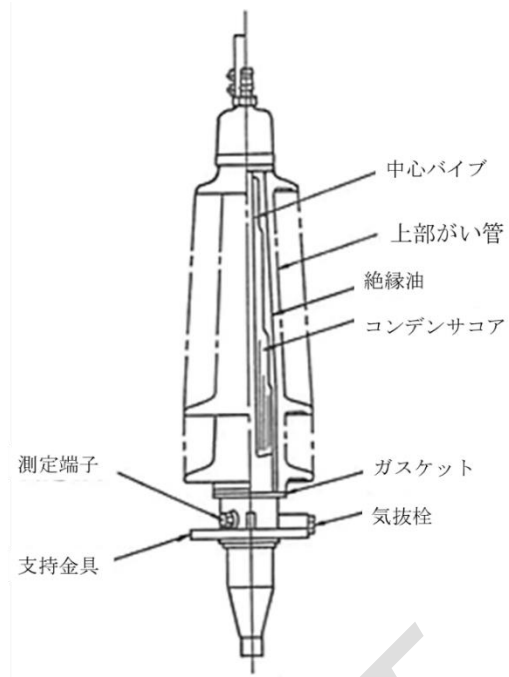


図46ーレジ紙コンデンサブッシングの構造の例

- d) **ポリマーブッシング** 2005年頃から、磁器がい管に代わり、軽量で耐震性及び防爆性に優れた有機絶縁材料であるポリマーがい管を使用したブッシングが変圧器へ適用されている。国内では、電圧22 kV以上154 kV程度に用いられ、電流は2 000 A程度までである。構造例としては図47に示すように、中心導体に対しコンデンサコアを配置又はエポキシ樹脂を充填し、外被材としてシリコーンゴムを用いたポリマーがい管で構成されたものがある。

耐震性については、ポリマーブッシングを変圧器に設置した状態で固有振動数測定を行い、一般的な地震の卓越周波数から回避されている耐震特性を有している。

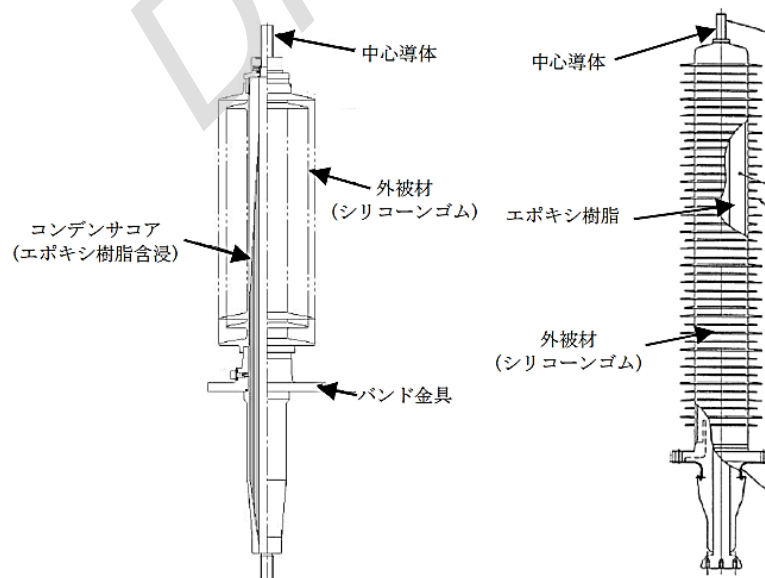
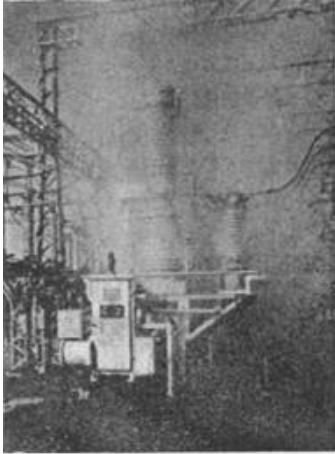


図47ーポリマーブッシングの構造の例

6.7.2 日常点検

運転中のブッシングについては、次の各項目を保守・点検する。

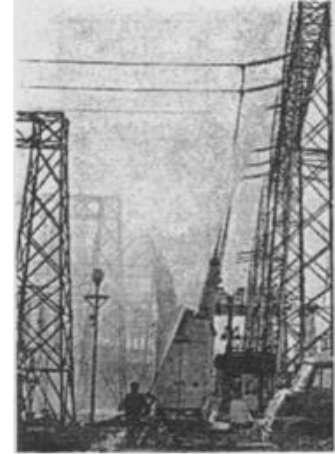
- a) **局部過熱** ブッシングと架線との接合部、及び気中端子等の締付部分が過熱していないか確認する。示温塗料、サーモラベル等を使用しておくことと便利である。
- b) **油面計指示の確認** 油面計のあるブッシングについては、油面指示を確認し、油漏れの有無を点検する。油面の変化は緩慢であるため、急激な油漏れ等を除けばあまり変化しないのが一般的である。定期的に、油面位置及び指針角度を記録し、同形ブッシングを相別に比較してみると、異常の有無が判断しやすい。



固定スプレー洗浄



水幕洗浄



ジェット洗浄（移動モニター車使用）

図48－洗浄方式の例

- c) **汚損** 磁器がい管について、汚れ、ちり（塵）及び塩分の付着が甚だしいときには、清掃する。停電して行う場合は、清浄な布ぎれを使用してよく拭く。汚れが甚だしくて容易に清掃できないものは、中性洗剤等の薬剤を潤した布で拭き、清水でよく洗浄してから乾燥した布で拭く。

停電が困難な系統、又は塩塵害の多い地域では、活線洗浄と称して停電させずに清掃を行う場合がある。洗浄方式には、“固定スプレー洗浄”、“水幕洗浄”及び“ジェット洗浄”方式がある（図48参照）。手動によって洗浄する場合、下方から上方へと洗浄しないと下方に塩分が累積されて洗浄中の外部閃絡につながりやすい。また、一相ずつ洗浄する場合、水しぶきを受ける他相の耐電圧が大幅に低下することがあるので、他相へ水しぶきが飛ばないように注意して作業を実施すること。

また、ポリマーがい管については、藻類の付着が著しい場合、又は過汚損が懸念される場合には、水道水又は汚れがひどい場合はアルコール（エタノール）又は中性洗剤を含浸させた不織布によって、シリコンゴム表面を軽く拭くことが望ましい。磁気がい管で記載した高水圧の洗浄については、外被材のシリコンゴムを損傷するおそれがあるため推奨しない。

- d) **機械的損傷** がい管の破損、油又はコンパウンドの噴出漏れの有無を点検する。

6.7.3 定期点検

定期点検時は、日常点検項目のほかに、次の各項目を点検する。

- a) **絶縁劣化の検出** 絶縁劣化の検出方法として、一般に絶縁抵抗測定及び誘電正接（ $\tan\delta$ ）測定がある。

正確な値を測るには、いずれの場合にも変圧器巻線及び架線との接続を切り離す必要があるため、現場では実施困難な場合が多く、測定値は良否の概略を判定する資料とする。

一般にはあまり行われませんが、試験用端子等がない単一形又は油入ブッシングにおいて、精度を要

求しない場合には、特別な方法としてブッシングを本体から取り外さないで測定する方法がある。この方法は、**図49**に示すように、がい管表面に電極 [すずはく (箔) , アルミニウムはく (箔) 等] を貼り付け、これを低圧端子及びブッシング頭部ターミナルを高圧端子として測定する。この場合、高圧端子の電極面積はできるだけ大きくとり、静電容量を増す。また、高圧電極と低圧電極とを逆にする場合もある。

油浸紙コンデンサ形及びレジン紙コンデンサ形ブッシングには、一般に試験用端子又は電圧測定端子が附属しているので、これらの端子を利用する。ブッシング頭部ターミナルを高圧端子とし、試験用又は電圧測定端子を低圧端子とする。また、高圧電極と低圧電極とを逆にすることも可能であるが、この場合の電圧は2 000 Vを超えないようにする。なお、 $\tan\delta$ を測定する場合は、次のことに注意する。

- 1) できるだけ晴天の日で測定中の温度が一定のときを選ぶ。
- 2) がい管表面はきれいに拭く。
- 3) 架線を外す (変圧器巻線を外せば更に精度が上がる。) 。
- 4) がい管表面のリーク電流を防止するためにガード電極を付ける。

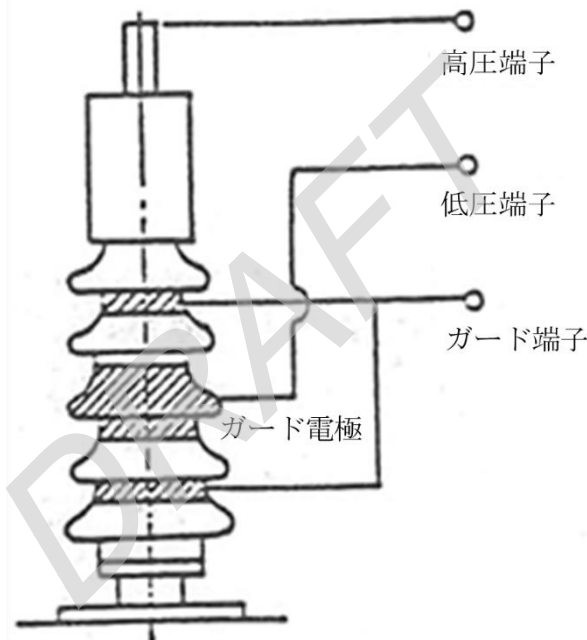
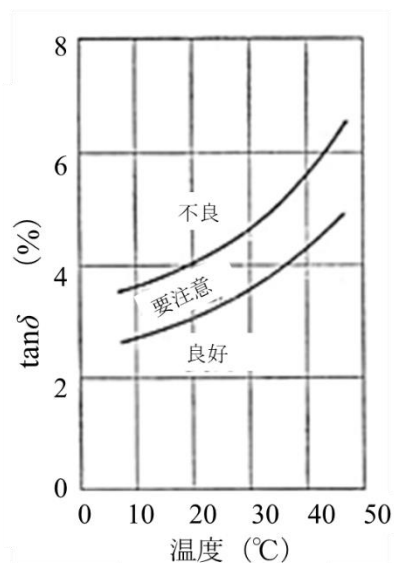


図49— $\tan\delta$ 測定用電極の取り付け方の例

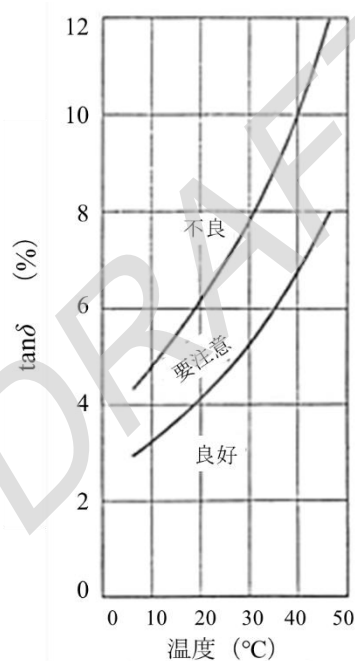
- b) **絶縁劣化の判定及び処置** 測定結果の判定は、絶対値だけで判定せず、経年ごとに測定し、その変化状態も併せて判定する。測定値が急激に変化した場合は、特に注意が必要である。

絶縁抵抗は、常温で1 000 M Ω 以上あれば良としてよいが、 $\tan\delta$ と併せて判定する。

$\tan\delta$ の判定は、油入形は**図50 a)**、コンパウンド形は**図50 b)**による。



a) 油入形ブッシングのtanδの判定表



b) コンパウンド形ブッシングのtanδの判定表

図50—tanδによる絶縁劣化判定基準

測定温度は外気温ではなく、がい管表面温度とする。測定電圧がブッシングの使用電圧以下では、tanδの変化はほとんどない。単一形ブッシング又は油入ブッシングの場合、測定電圧が使用電圧よりも高いと、コロナのためtanδが増大することがある。

測定結果の判定が不良であるときには、製造業者に連絡する。

- c) **局部過熱の点検** ブッシングと架線との接合部、気中端子等の締付け部の過熱は、締付け部の緩みのためであることが多いため、接触面の汚れを落として堅く締め付ける。
- d) **がい管の汚損、破損(き裂)の点検** がい管の清掃は、6.7.2 c) による。破損が認められたときは、予備品と取り換える。

- e) **油漏れの点検** 各部からの油漏れを点検する。油漏れがある場合、応急的に油補充するか、予備品と交換するか、又はオーバーホールする。油入密封形では、ブッシング取付部以外からの油漏れは、製造業者に連絡して処置を依頼する。
- f) **油面計の点検** 油入密封形では、油面計の指示に異常はないか、油面計内に結露及び発せい（錆）がないかを確認する。

6.7.4 取扱い

ブッシングの取扱いには、一般に大きな曲げモーメントを与えることは避ける。また、取付けフランジ周辺のボルトは、少しずつ順次締め付けて片締めにならないようにする。

6.7.5 保管

ブッシングの保管の詳細は、一般的に製造業者の取扱説明書による。

製造業者から送付されたブッシングは、念のため点検の上、再びこん（梱）包に入れて保管しておくのがよい。一般に、屋外保管も可能であるが、長期間保管する場合、又は密封形でない場合は、屋内の乾燥した場所へ保管することが望ましい。

6.7.6 エレファント形油中接続箱の保守・点検

6.7.6.1 概要

ケーブルに直結する変圧器の口出しには、安全性及び経済性を考慮して、エレファント形油中接続箱が用いられる。構造例は図51のとおりで、接続部分は全部油中にある。

注記 外観が象の頭部に似ていることからエレファント形と名付けられた。

接続方式には、ケーブルヘッドを直接変圧器タンク内に入れる直接式[図51 a)]、及び油中壁貫ブッシングを通して接続する間接式[図51 b)]があるが、一般に図51 b) の間接式が使われている。

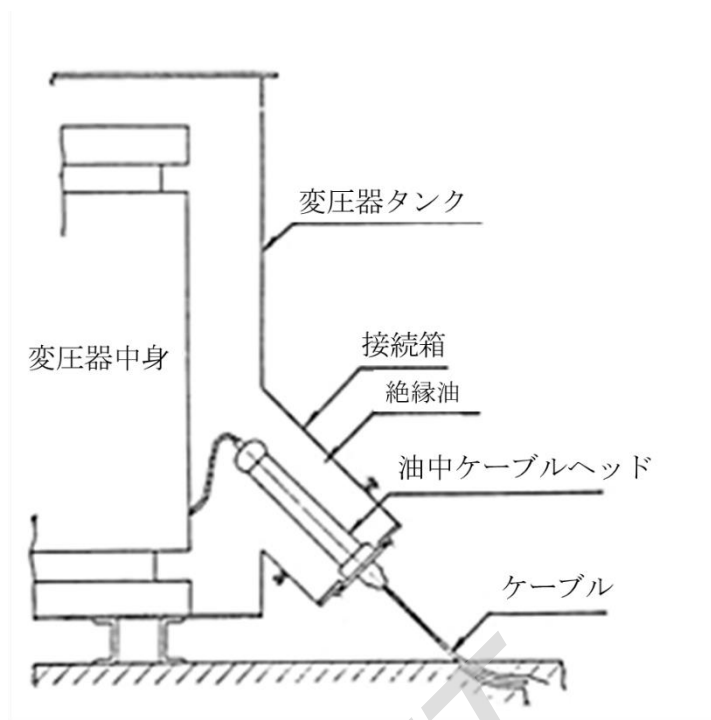
6.7.6.2 日常点検

変圧器本体の点検と同時に外観の異常の有無を点検する。

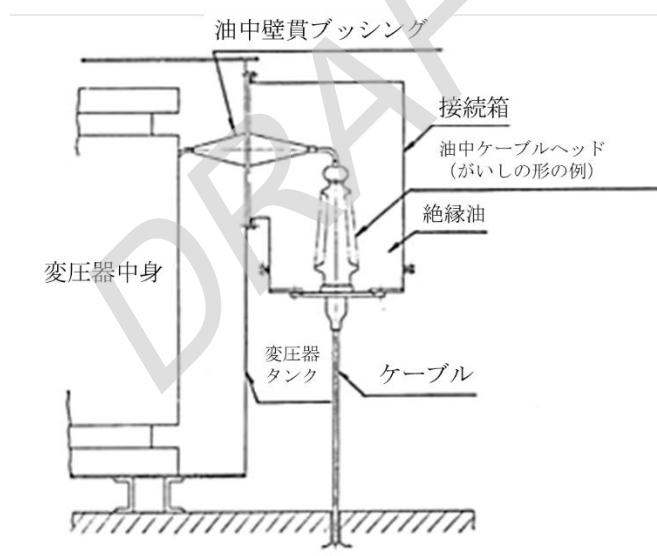
6.7.6.3 定期点検

年に1回、次の事項について実施する。その際、異常がなければ内部まで点検する必要はない。

- a) **油面の点検** 油面は正常か（油面計のあるもの）、油漏れはないか等を確認する。
- b) **油の破壊電圧測定** 合否の判定は、6.3.7の表5による。油が著しく汚損しているときは、内部点検を行う。



a) 直接式の例



b) 間接式の例

図51－エレファント形油中接続箱の構造の例

- c) **放圧装置の点検** 放圧装置が附属しているものは、放圧板の損傷・油漏れ・ガス漏れ等を点検する。
- d) **締め付け部の点検** 締め付け部が緩んでいないかを点検する。

6.8 冷却装置

6.8.1 概要

冷却装置は、変圧器が日常的に正常な運転を行うに当たり、最も重要な部分である。

冷却装置の不良は、変圧器の寿命を短縮し、重大事故の原因ともなるので、保守・点検を適切に実施する。

自冷式放熱器、大容量器に多く採用されている送油風冷式冷却装置、送油水冷式冷却装置、冷却器を本体と別置し、送油ポンプで油循環させる別置形冷却装置については、次に述べるとおり適切な保守・点検が必要である。

6.8.2 自冷式放熱器

一般に、放熱器は薄い鋼板で作られているのでさび（錆）が進行すると、漏油に至りやすく、また、その補修が困難となる。発せい（錆）の早期発見及び早期手当が大切である。特に、上下部のヘッダと放熱器パネルとの溶接箇所の油漏れに注意を要する。万一、放熱器内部にスラッジ等が詰まると、油が流れにくくなり、その部分の温度が低くなるため、近傍部と同等な温度を示しているかどうか手で触れてみる。放熱器と変圧器本体との間に放熱器弁が入っているものは、本体の油を抜くことなく放熱器の取外しが可能である。運転中には“開”の位置にあることを確認する。油入自冷式変圧器の例を **図52** に示す。

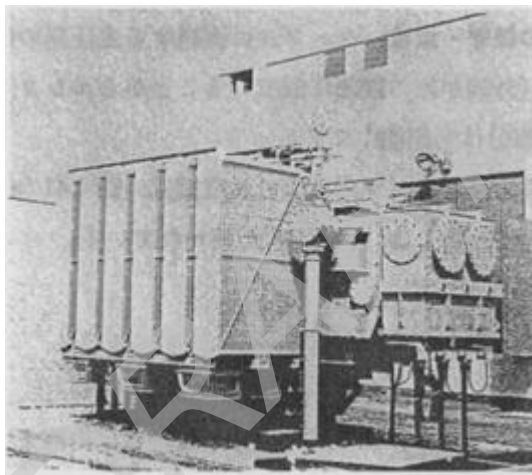


図52—油入自冷式変圧器の例（30 MVA，66/11.5 kV）

6.8.3 冷却用送風機

単位冷却器（ユニットクーラ）用送風機は、出力100 W～1 000 W程度の小形電動機に冷却扇を直結したもので、電動機は普通三相誘導電動機を使用している。その構造の一例を **図53** に示す。また、**図54** にユニットクーラの構成例を示す。

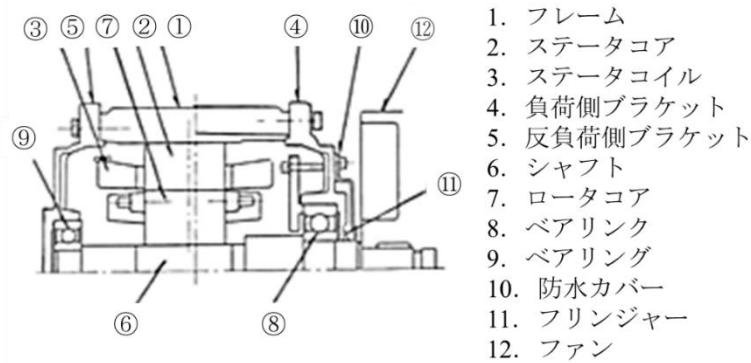


図53-冷却用送風機の構造の一例

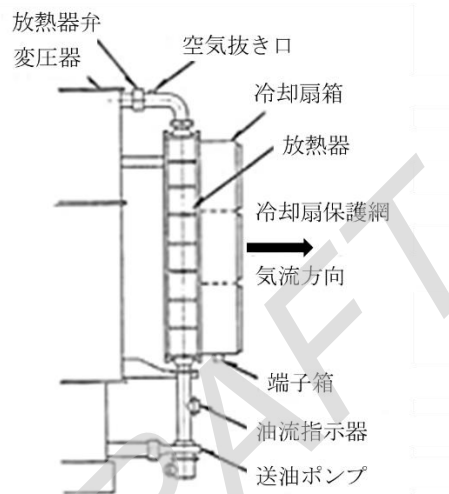


図54-ユニットクーラの構成例

電動機の寿命は、コイルの絶縁及びベアリングに左右されるが、屋外で使用されることを考慮して密閉・防水構造となっているため、絶縁不良を起こすことはほとんどない。また、ベアリング部分は、防塵防水構造としており、グリースも各製造業者でそれぞれ独自の良質なものを使用しているため、屋外連続運転にも耐えることが可能である。

しかし、ベアリングの寿命を更に長くするには、1~2年間に一度くらい分解点検をしてグリースの交換を行うことが望ましい。分解点検は、製造業者が添付する説明書によるが、一般に次のことに注意して行う。

- a) 古いグリースは完全に除去し、洗浄する。洗浄には白灯油を用いるとよい。
- b) 新しいグリースは、ボールベアリングに所定量だけ詰める。詰め過ぎてはならない。なお、グリース交換を不要としたシールドタイプのベアリングが使用されることも多い。
- c) 全体の組立ができたら軸を手で静かに回転させ、引っ掛かり、異常音等がないことを確かめてから通電する。
- d) 通電後、回転方向の確認をする。

6.8.4 送油ポンプ

単位冷却器では出力1.5 kW~4.0 kW程度の三相誘導電動機が使用され、ポンプ部分と電動機部分は一体のケーシング内に納められている。電動機内部には油が充満しており、電動機の冷却作用を行いつつ回転

部分の潤滑油の役目もしているので、ベアリング部分の給油は不要である。送油風冷式変圧器の例を図55、送油ポンプの構造の一例を図56に示す。

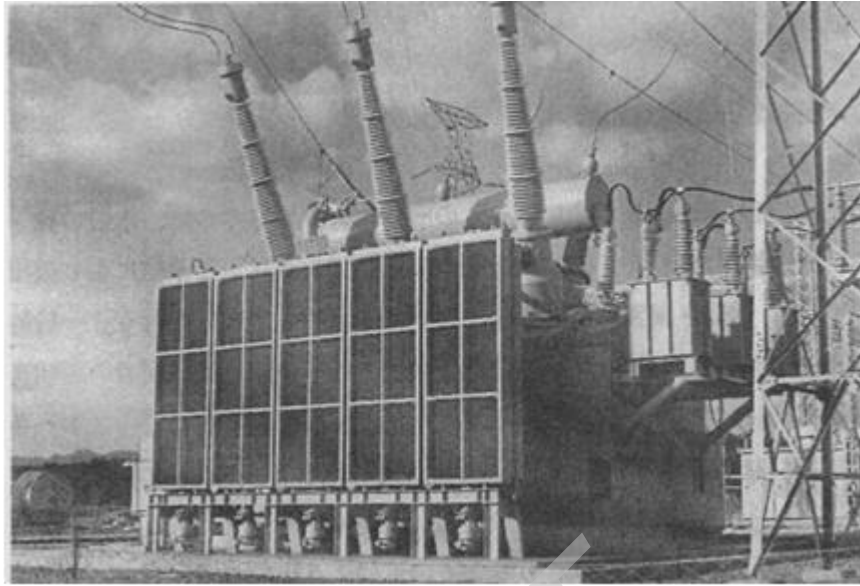


図55—送油風冷式変圧器の例

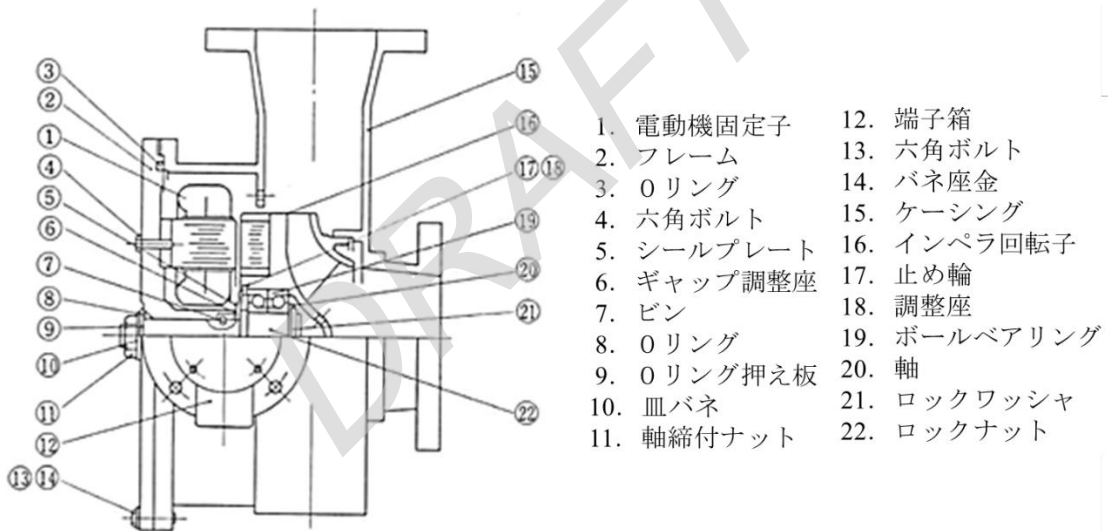


図56—送油ポンプの構造の一例

送油ポンプはほとんど事故発生のおそれはないが、異音、振動等を発生した場合は放熱器弁を閉じてポンプを取り外し添付説明書に従い分解点検する。

送油風冷式の放熱部には多数のフィンが附属されているが、環境によっては、このフィンにじんあい（塵埃）が付着し、腐食又は目詰まりを起して放熱効果を損なうことがあるので、目視によるじんあい（塵埃）堆積状況の点検が必要である。

清掃にあたっては製造業者の説明書による。

6.8.5 水冷式冷却器

変圧器と冷却器との間に設けた送油ポンプで油を強制循環する方式が製作されている。いずれにしても冷却管の腐食・破損は重大事故の要因となるため十分保守・点検しなければならない。送油水冷式変圧器

の例を図57に示す。

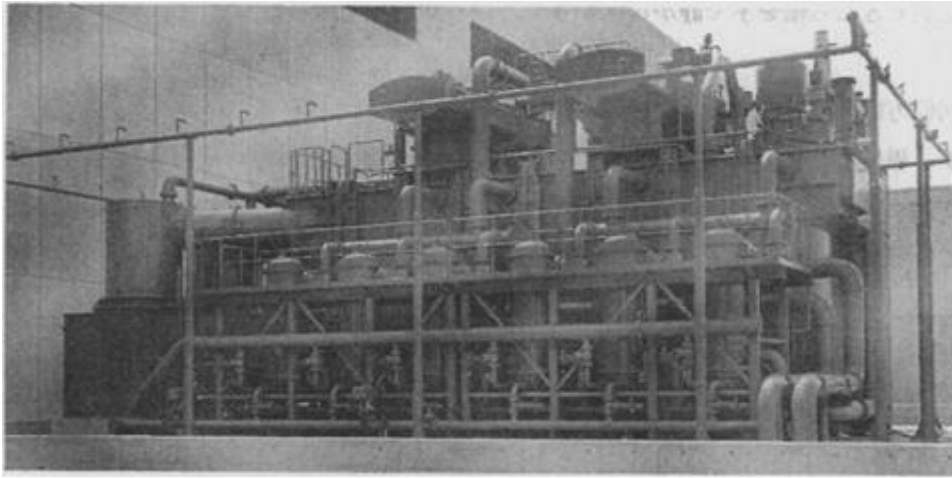


図57—送油水冷式変圧器の例（1 100 MVA，147/525/21 kV三相変圧器）

また一方、腐食の進行は冷却管の金属組成の他に冷却水の成分によって異なるので、水質の悪い地方では点検回数を多くする。なお寒冷地では運転停止時に、水を完全に抜いておかないと氷結によって破損するおそれがある。また、長期休止中の変圧器においても、凍結・腐食による損傷を防止するため、水抜きを行う。一般的には、次の点に注意して保守を行うが、手順・方法・作業後の処置に細部の注意が必要であるので、製造業者の説明書による。

- a) **冷却器内部を定期的に清掃する** 水質にもよるが、定期的に清掃して冷却管のスケールを取り除くことで、冷却性能が保たれ、冷却管の損傷を防止できる。
- b) **冷却水圧・水量・水温を一定に保つ** 冷却水の圧力が所定値に保たれていることを圧力計によって日常監視し、異物の堆積・弁の閉止等によって水路が閉塞されることのないように点検する。また、冷却に必要な所定の水量になるよう調整する。水量が不足すると冷却性能が低下するほか、スケール等の発生・堆積が多くなり、腐食・損傷の原因となる場合がある。一方、水量が過大となると冷却器の寿命を縮める可能性がある。水温についても規定値から大幅に変化しないように監視する。
- c) **良好な水質の維持** 水質によっては冷却器を損傷したり寿命を短縮することがあるので、適切な水質の冷却水を確保維持することは、冷却器の腐食を防止し、スケールの生成を抑制するために非常に重要なことである。泥土その他の異物が冷却器に流入しないよう、ストレーナを設けて水路を清浄に保つようにするほか、定期的に水質検査を行い、水中微生物の繁殖及び水質の経年的変化に注意し、必要に応じて冷却水を入れ替える等の処置をする。

なお、水質の基準として電気協同研究第30巻第6号「大容量変圧器の事故防止対策」が指針（表8参照）を与えているのでそれに従うのがよい。

表8－水質基準値

項目	基準値	
	(循環水)	水道水の基準 (参考)
pH (25 °C)	6.0～8.0	5.8～8.6
導電率 (25 °C) μS/cm	500以下	—
塩素イオン Cl ⁻ (ppm)	100以下	200以下
全硬度 CaCO ₃ (ppm)	150以下	300以下
硫酸イオン SO ₄ ²⁻ (ppm)	200以下	—
M-アルカリ度 CaCO ₃ (ppm)	15～60	—
硫黄イオン S ²⁻ (ppm)	検出しない	—
アンモニウムイオン NH ₄ ⁺ (ppm)		検出しない
全鉄 Fe (ppm)	0.5以下	0.3以下
シリカ SiO ₂ (ppm)	30以下	—

- 1) **ユニットクーラ式** 冷却器の内部に設置された冷却管を介して、絶縁油と冷却水との間で熱の交換授受を行う方式である。冷却器は、普通、変圧器本体の側面に取り付けられるが、変圧器と離して別置されることもあり、横形冷却器以外にも、縦向きにして使用されることもある。冷却器の構造例を図58に示す。

冷却管の構造によって、一重管式と二重管式がある。

- 1.1) **一重管式** この方式は、通常油圧を水圧より高くとり、万一、冷却管に漏れを生じて油中に水が入らないようにしているのので、運転開始時にはまず油ポンプを運転し、停止にあたっては冷却水を先に止めるよう注意する。

冷却管がスケール・異物等によって閉塞され、冷却水圧が異常に上昇した場合にこれを検出し警報を発するため差圧継電器が取り付けられる。差圧継電器は冷却水と絶縁油との圧力差を検出し、両者の圧力差が設定値以下に低下すれば接点を閉じ、圧力差が上昇回復すれば復帰する接点を持った保護継電器である。

差圧継電器については6.10.6を参照する。

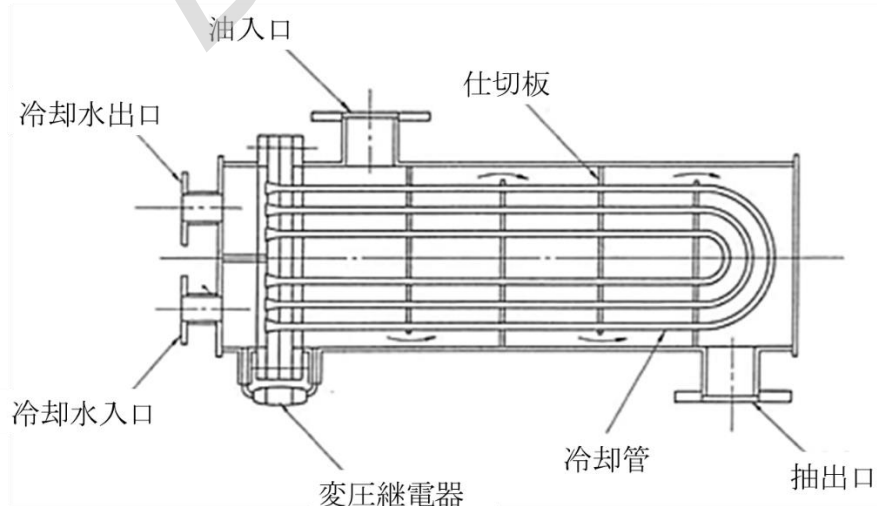


図58－水冷式冷却器の例

- 1.2) **二重管式** この方式では、冷却管が二重構造になっていて、万一冷却管が破損・漏水（又は漏油）した場合でも、内外管の間に設けられた空間を通して外部に排出され、油側（又は水側）に侵入

しないように配慮されている。

冷却管の漏れを検出し、警報するための漏洩検知器を取り付けている場合がある。万一漏水（又は漏油）した場合、漏れた冷却水（又は絶縁油）は漏洩検知器に集められ、その量が規定量になると警報接点を閉じる。漏洩検知器については**6.10.7**を参照する。

6.9 温度計及び油面計

6.9.1 概要

変圧器の温度は、運転上重要なものであり、使用状態の良否及び内部異常の有無の判定に資するものであるため、温度測定装置は常に正確に指示するよう、点検・手入れには十分に注意を払う必要がある。

6.9.2 棒状温度計

油の最高温度になるべく近いところに設けて測温するため、通常、変圧器本体の上部に取り付けられる。変圧器本体にポケットを設け、その中に温度計の感温部を挿入してある構造（間接式）のものが多く、温度計の取り換えに便利である。取付部からの油漏れに注意し、ガラスのくもり等は適宜、布等をもって清掃する。

6.9.3 ダイヤル温度計

内部に有機液体、又はガス等の気体が封入された感温部と指示計器部を導管でつないだもので、それらの膨張収縮によって指針を動かす一種の圧力計の原理によるものである。感温部の取付位置・構造は棒状温度計と同様である。最近のものは信頼性が高いので棒状温度計は省略するケースが多い。指示値の経年変化に注意し、指示が異常と思われる場合には、負荷の大小と周囲温度の変化を勘案し過去の記録と比較して判断するか、基準温度計と比較して計器の指示不良かどうかを確認して原因を調べる。

ダイヤル温度計と棒状温度計との間には正常時でも多少指示温度値に差があるのが普通である。

日常の点検では内部にさびを生じていないか、水分が侵入していないか、指針の動作が円滑であるか等に注意し、定期点検時には警報接点は確実に動作するか等について詳細に点検する。

計器の中に水分が入り、ガラスが曇っている場合はガラスふたをとり、ガスケットを取り換える。尚、ガラスふたの取り外しは、製造業者に相談することを推奨する。

防せい（錆）及び機械的に強くするため油入形の温度計も使われる場合があるが、油入形においては適宜油の交換をしないと油が汚損してくるので指示が不鮮明となる。塵の侵入したもの、潤滑油又は変圧器油が侵入し酸化固着したもの等は、分解してベンゾールで洗浄すれば機能を回復することができる。

永年使用すると、ブルドン管の疲労現象、ピニオンの扇形ギヤ・軸受部の摩耗等によって、指示が変化したりすることがある。導管は普通、二重パイプとなっており補強されているが、パイプと指示計の取付点が折れたり、外れたりしやすいため変圧器内部点検等に際しダイヤル温度計を仮に取り外すときは、導管を引張ったり衝撃振動を与えないようにする等、特に注意して取り扱う必要がある。**図59**はダイヤル温度計の一例である。

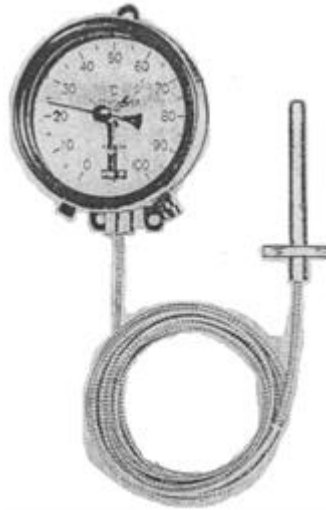


図59—ダイヤル温度計の一例

6.9.4 電氣的温度指示装置

測温抵抗の変化をブリッジ又は比率計によって計器に指示させる温度指示装置で、配電盤上に取り付け記録計にも利用できる。

また、切換開閉器とあわせて数台の変圧器の監視もできる。

a) 測温抵抗

- 1) **油温測定** 円筒状に巻いた抵抗体を油温の最高と思われる部分につり下げ、抵抗の変化によって油温を測定するものである。
- 2) **巻線温度測定** 巻線の最高温度発生部と思われる部分の導体又はこの部分に挿入した細長い絶縁物に、細い銅線が無誘導的に巻いたものは古くは採用されていたが、この測温抵抗を巻線に直接挿入することは、例え絶縁変圧器を介したとしても危険であり、また絶縁を厚くすると感度が下がり適切でないので現在では図60に示すような間接方式が行われている。これは、加熱要素（コイル又は抵抗）を油の最高温度部に置き、それに負荷電流に比例した電流を流して測温抵抗を加熱し、巻線の最高温度を模擬的に再現させて測定するもので、サーマルイメージとも呼ばれるものである。測温抵抗の代わりに6.9.3で述べたダイヤル温度計の感温部を加熱要素の中に入れて、直接温度指示したり継電器を働かせたりするものもある。

巻線と油との温度差・油温及び周囲温度をそれぞれその温度と抵抗値とが直線的に変化する抵抗温度計で置き換え、これを電氣的に接続することによって巻線温度を測定するようにしたものである。

測温抵抗の抵抗値及びその温度係数は製造業者によって異なるため注意を要する。また、測温抵抗と温度指示装置との接続導体にはその抵抗値について製造業者によって異なる限度があるため注意を要する。

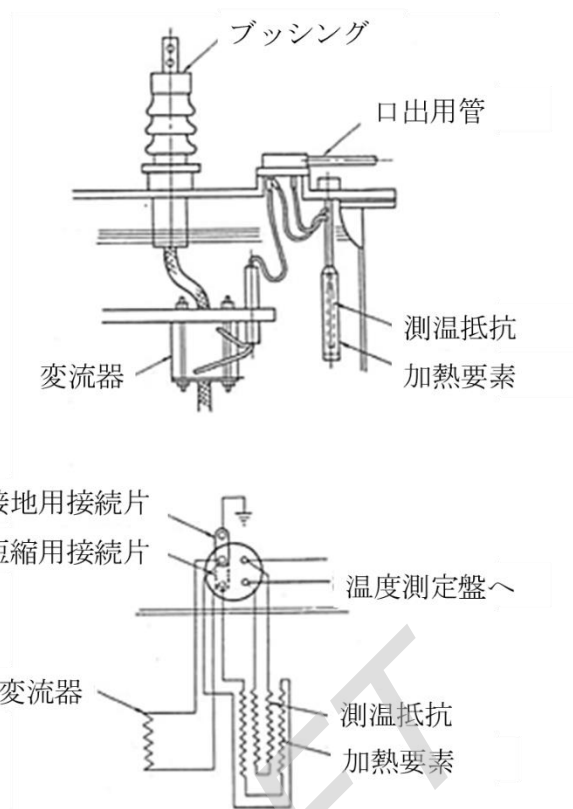


図60－間接式巻線測温装置の例

- b) **温度指示装置** 温度指示装置にはブリッジ式のものが多いが、比率計式のものもある。いずれも配電盤に取り付けられており配電盤計器に準じて点検する。特に切換開閉器の接触部分・各端子の締付部分等接触抵抗が変化するおそれがある箇所注意する。

なお、測温抵抗と指示装置との接続線の太さ（又は抵抗値）は製造業者が指定するものにしなければならない。

注記 温度指示装置はフィールドに残っていることはあるが、新しくは作られていない。

図61はブリッジ式の一例である。

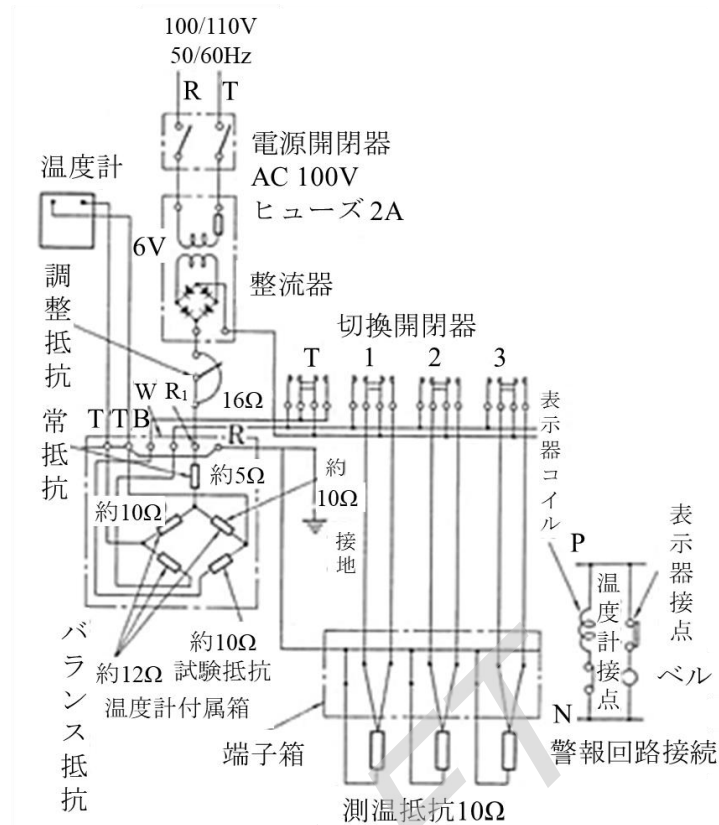


図61—ブリッジ式温度指示装置の一例

6.9.5 板状油面計

タンク又はコンサベータの外側に取り付けられ、油面を直接外部に表示する極めて簡単な構造のものであるが、取付部等に漏油が起りやすいため注意を要する。

窓が汚れやすいので、適宜、布等で清掃する。呼吸孔・呼吸器が詰まると油面指示が甚だしく異常となるため注意を要する。

小形変圧器等には図62のような板状油面計、図63のような温度計と一体となった油面計も使用される。

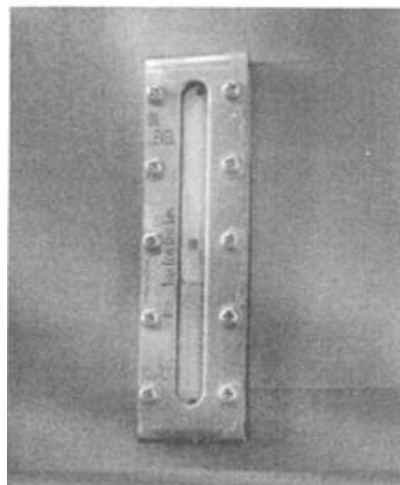


図62—板状油面計の例

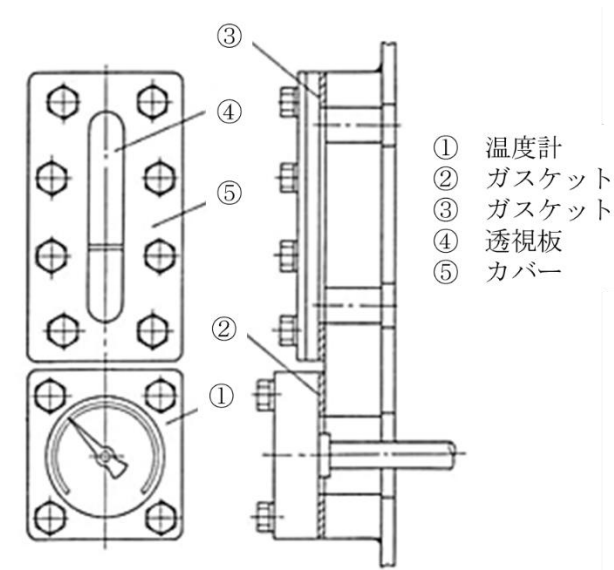


図63—温度計付油面計の例

6.9.6 ダイヤル油面計

ダイヤル油面計は、一例を図64に示すとおり浮子が油面の変化に応じて動き、その動作を隔壁の両側にあるマグネット継手を通して指示部に伝える構造になっている。

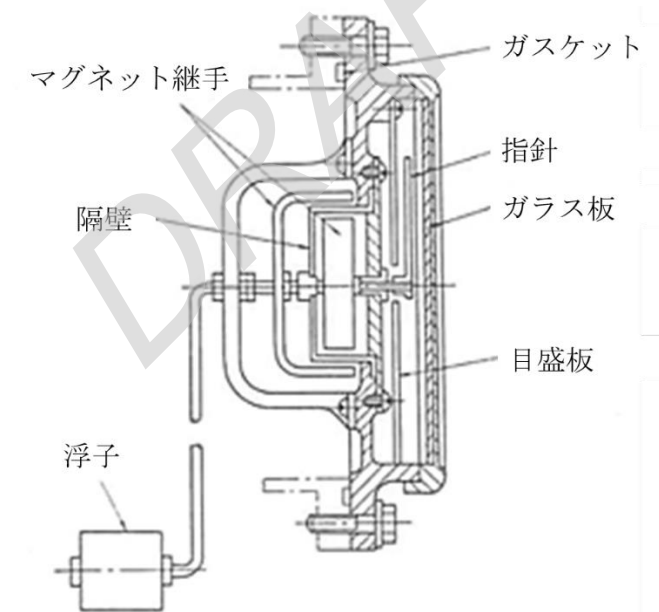


図64—ダイヤル油面計の例

日常点検では、ガラスが破損していないか、指示不良がないかを点検すればよい。定期点検の際は次の事項を保守・点検する。

- a) **ガラス板及び指示板の清掃** ガラスの内側に水分がたまっているようなときは、ガスケットを取り換える。
- b) **指示不良の点検** 指示不良の原因には油が侵入・軸受部の不良・マグネット継手の不良等があり、発見した場合は油面計を交換する。

- c) **警報接点の点検** 警報接点のついているものは動作が正しいかどうかを調べ、正常に動作していない場合は、製造業者に連絡する。

6.10 保護継電器

6.10.1 ブッフホルツ継電器

油入変圧器の内部故障の場合の保護に使用するもので、通常は変圧器のタンクとコンサベータとの間の連結管に取り付けられる。継電器の動作には、第一段（軽故障）と第二段（重故障）とがあり、主として第一段は警報に、第二段は遮断器のトリップに使用される。

その構図は図65に示すようにケース内に2個の浮子があり、指示軸を中心に、回転しうるように取り付けられている。

浮子の上下変化をマグネットの回転変化としてとらえ、外部にあるマイクロスイッチを動作させる機構となっている。

注記 古いものでは、浮子に電気接点（通常水銀接点を用い200 V－10 Aの遮断容量をもっているが、補助継電器を経て接続されることもある）が取り付けられ、一定の角度に回転すれば接点が開閉する構造になっている。

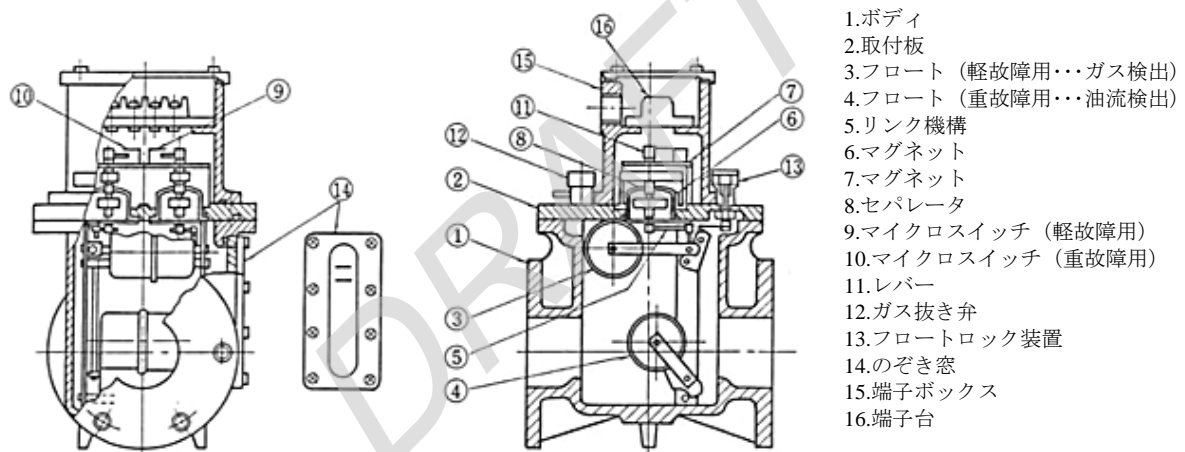


図65－ブッフホルツ継電器の例

変圧器内部の絶縁物・有機質構造材が焼損し、又は油が微小アークによって分解しガスを発生したとき、ガスは上部へ上がってケース内にたまる。このガス量が一定量以上になると、第一段用である上部の浮子の位置が次第に下がり接点を閉じて警報装置を動作させる。また、油面がコンサベータの最低面以下に低下した場合にも同様に警報装置を動作させる。

下部の浮子は第二段用で、変圧器内部でアークが発生し、急激なガス及び油の蒸気が噴出すると油の急激な移動を生じ、これが浮子に衝撃を与えることで動作して接点を閉じ、通常は遮断器をトリップさせる。

図66に動作説明図を示す。なお、第二段は省略される場合もある。

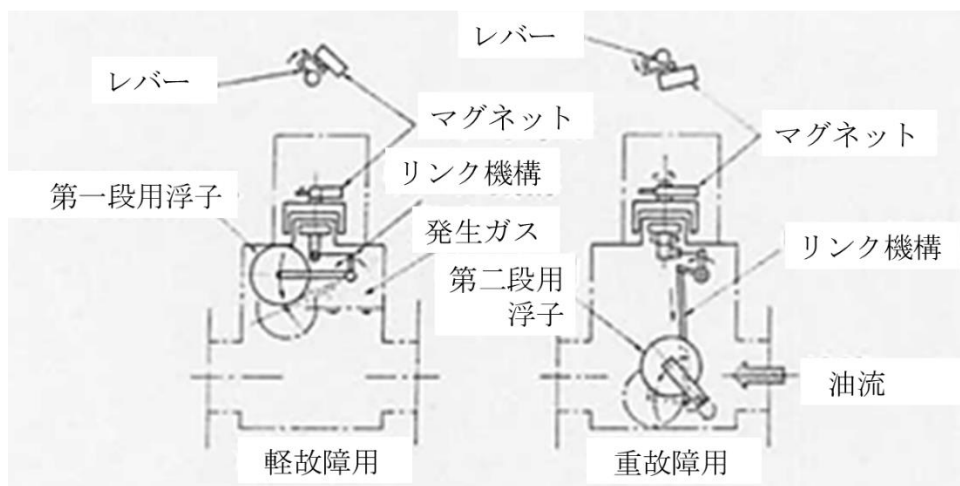


図66—動作説明図

ケースの一方にはのぞき窓があり発生ガスの量と色が見られる。上部には図67のようなガス抜き弁が設けられ、ここからガスを取り出せる。組立の際には輸送中の損傷を防ぐため、浮子が動かないようにロック装置等で固定してあるので、それらを解除の上、浮子及び接続端子が正しい状態にあるかどうか点検してから接続方向と水平レベルに注意して取り付ける。図68に浮子ロック装置の操作方法の例を示す。変圧器に油を充填した後は継電器の上部ガス抜き弁を開き、継電器内部の空気を排除してから変圧器を運転開始する。

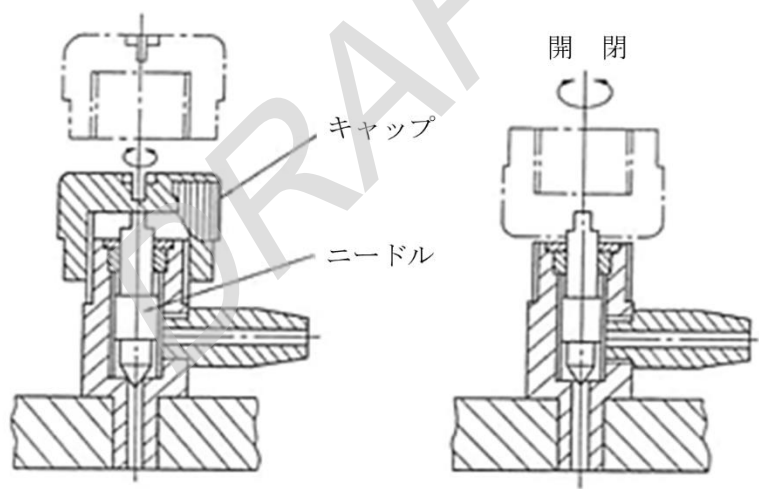


図67—ガス抜き弁の例

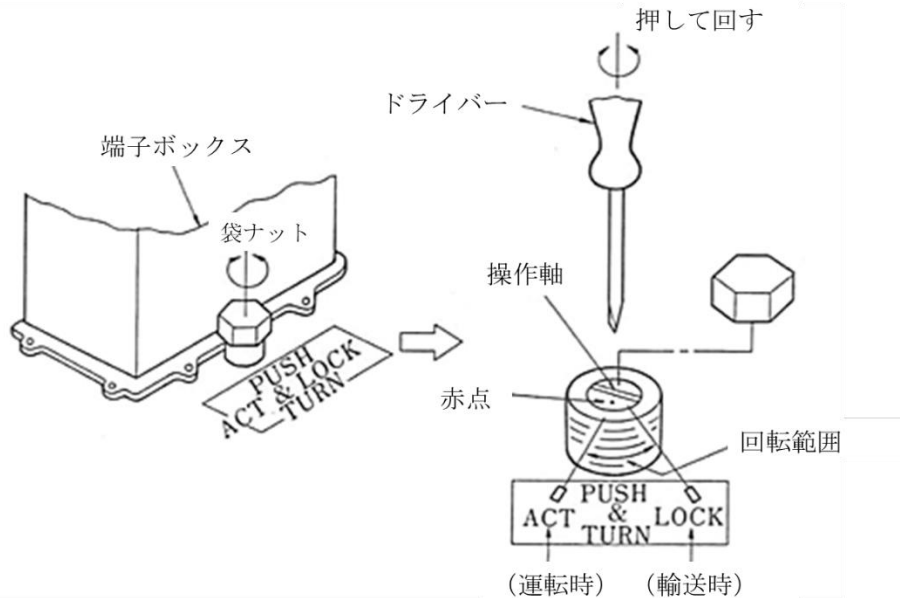


図68—浮子ロック装置の操作方法の例

なお、水銀接点を使用されているものは、衝撃又は振動を与えると破損するため十分注意して取り扱う。

日常点検では、継電器の油漏れ・発生ガスの有無を点検する。もしガスがたまっている場合には（第一段動作の有無にかかわらず）製造業者の説明書にある方法でガスを採取し、ガス分析を行う必要がある。また、コンサベータの規定油面も調査する。

定期的な内部点検と清掃を行い、のぞき窓のガラスを清浄に保ち、浮子が正常でかつ指示軸を中心に円滑に回転するかどうか調べる。また空気ポンプ等で空気を送り込んで、製造業者が指定する目盛位置で浮子が動作し接点を閉じるかどうかを確認する。

長年月の振動等によって浮子の気密性が損なわれて油中に沈んだり、浮子の指示軸が軸受から外れたり、又は油が漏れたりしていると、継電器の誤動作を招くことがあるため注意を要する。

継電器が動作した場合には、本体の事故か継電器自身の誤動作かを見極め、その動作原因を調査の上、必要に応じて製造業者に連絡する。動作した場合の事故の検出及び採取ガスの分析等については8.5.2を参照する。

6.10.2 衝撃圧力継電器

ブッフホルツ継電器と同性質の継電器で内部故障によって生じる圧力の急上昇を瞬時に検出して動作するもので、衝撃ガス圧継電器及び衝撃油圧継電器がある。

前者は油入変圧器のガス空間部（通常放圧管頭部）又は窒素封入式変圧器の窒素室に取り付けられ、後者はタンク側面又は上面に取り付けられる。両者の主な違いは、内部がガス（又は空気）か又は油かの違いにあり、原理的には同じといえる。

継電器の動作はブッフホルツ継電器と異なり、第二段（重故障）だけで、継電器のトリップ等に使用される。

a) **衝撃ガス圧継電器** 常時運転中はガス室部の圧力が緩慢に変動してもガス室内の圧力と継電器室内の圧力とは均圧孔を通して常に等しい値に保たれるため継電器は動作しない。事故のときはガス室内の

圧が急激に上昇するために圧力上昇が遅れ、圧力差を生じて接点（通常マイクロスイッチ）を動作させる。

動作原理を図69に示す。

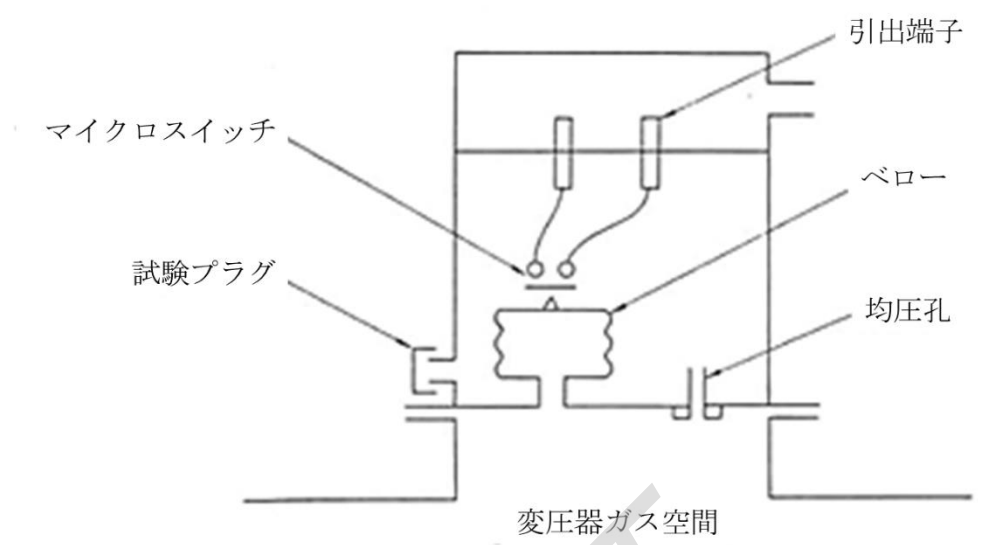


図69—衝撃ガス圧継電器の例

この接点は補助継電器を経て、遮断器の操作回路に接続すると変圧器回路を遮断できる。また内部事故が急激であり圧力上昇が速いときは、均圧孔の抵抗効果によって短時間に継電器を動作する反限時特性を持たせると共に常時の内圧値に無関係に感度を設定することができる。

取り付けの際には、締付ボルトの緩み及びガスケット不良に注意して取り付ける。取り付け後に真空注油・窒素ガスの封入等を行う際には、急激な内圧変化を避け、継電器の動作特性への影響及び継電器室内に油が浸入しないように注意を払う。

この継電器は圧力継電器の動作圧力と均圧孔の通気量によって動作特性が決められるものであるため、常にその特性を保っているかどうか定期点検をする必要がある。このために試験プラグを用い、製造業者の説明書に従って動作特性を確認する。点検が終了すれば試験プラグを戻し、ガスケットで密栓する。密栓後にグリースを塗るとよい。

- b) **衝撃油圧継電器** 衝撃油圧継電器は、図70に示すようにセパレートベローとマイクロスイッチ動作ベローの二つのベローを備えており、セパレートベローによる油と空気の仕切を除いて、この継電器の動作原理は衝撃ガス圧継電器と全く同じである。

すなわち、通常変圧器運転時は油圧が緩慢に変動し、セパレートベローを圧縮してもセパレートベロー内と継電器室内の圧力は均圧孔を通じて常に等しい圧力となるので、マイクロスイッチは動作しない。構造の一例を図70に示す。

もし変圧器内部異常によって油圧が急激に上昇した場合、油圧がセパレートベローに加わってセパレートベローを圧縮するので内部の圧力が上昇し、その圧力がマイクロスイッチ動作ベローを膨張させてマイクロスイッチを動作させる。

試験プラグはこの継電器の動作特性を試験するためのもので、変圧器運転中は衝撃ガス圧継電器と同様、気密を確保するように固く締めておかなければならない。

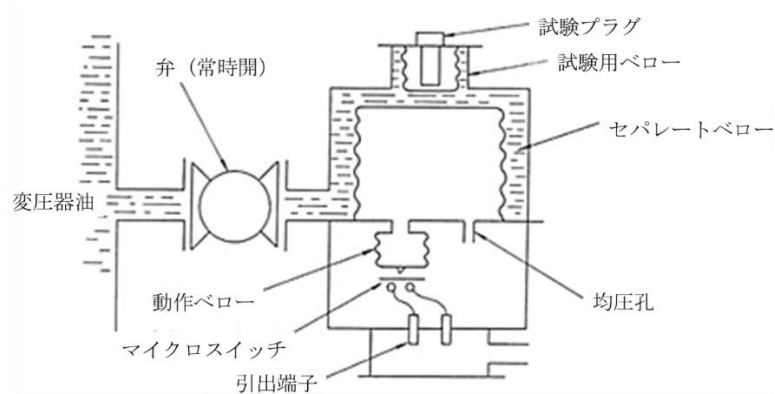
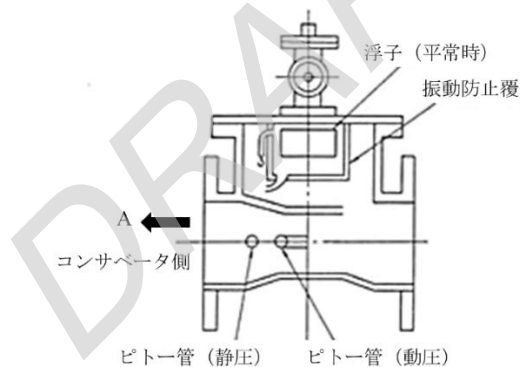


図70—衝撃油圧継電器の例

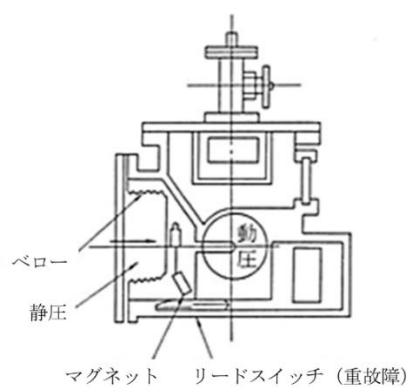
6.10.3 ピトー継電器

ピトー継電器（図71図71）もブッフホルツ継電器と同性質の保護装置で変圧器のタンクとコンサベータとの間の連結管に取り付けられる。図71 a), b)に構造の一例を示す。

事故の急激な油流による速度水頭をピトー管でとり、その動圧によって生じるベローの伸縮変動を直接マグネットに伝え、このマグネットの動きによってスイッチを動作させる構造である。また、事故で発生したガスによって動作する第一段接点は、浮子が動かないように振動防止の覆いを設けてある。日常及び定期点検はブッフホルツ継電器と同様である。



a) 断面図



b) A側から見た断面図

図71—ピトー継電器の例

6.10.4 断流継電器

断流継電器には断油継電器と断水継電器があり，送油式及び導油式の絶縁油又は水冷式の冷却水が正規の流量以下に減じた場合に動作し接点を閉じて警報を行い，変圧器の過熱を防ぐものである。その構造例を図72に示す。ケース内にブレードを設け，油流又は水流がブレードに当たるとこれが回転して接点を開く。断流又は逆流するとブレードが元に戻って接点を閉じて警報する。

いずれも方向に注意して取り付け，定期点検時には清掃を行い動作が確実かどうかを確かめる。特に断水継電器は，水質の悪い冷却水を使用する場合は内部の点検清掃を十分に行う必要がある。内部の清掃が十分でないと指針が正確に動かなくなるおそれがある。

また，この他に冷却水管又は送油管の一部にガラス窓を付けて流れの監視を行うものもある。いずれもガasket部からの漏れに気を付けガラスの清掃ならびに破損に注意を払う。

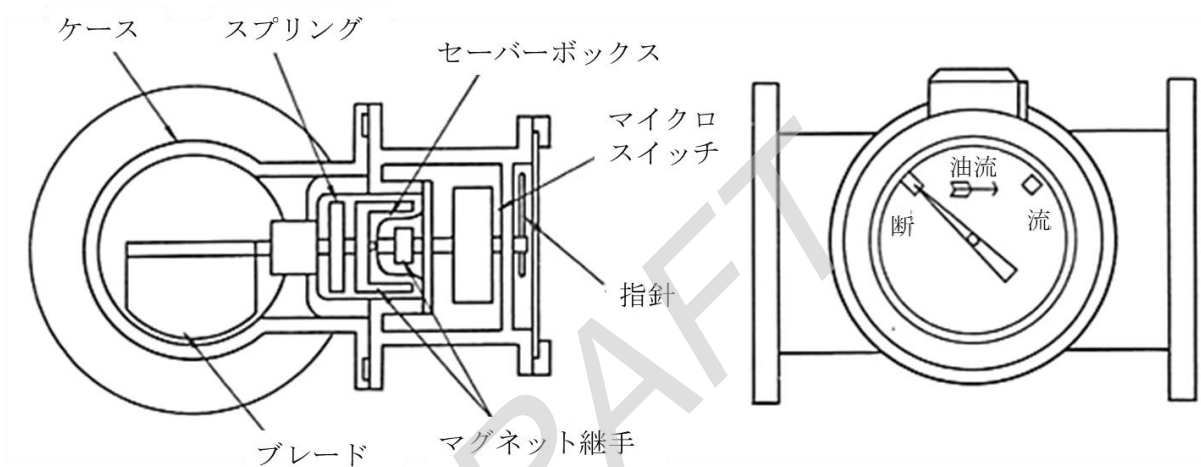


図72—断流継電器の一例

6.10.5 油流指示器

ユニットクーラの油流指示に用いられ，表9の三状態を判別するもので，警報接点が付くものと付かないものがある。

表9—油流指示器の目盛

目盛りの指示 ^{a)}	状態
正	送油ポンプは正常運転で正規流量
逆	異常に少ない流量又は送油ポンプの逆回転
止	送油ポンプが停止
注記 正，逆，止の目盛記号は一例である。	

動作原理は6.10.4の断流継電器と同様で，マグネット継手を通して外部の指針に伝達させる機構となっている。取り付けの際は向きを誤らないようにする。

不良の場合の点検は次のように実施する。

- a) 送油ポンプ運転中に油流指示器の指示が“逆”又は“止”を指示している場合，指示器の指示不良をまず調べる。指針を手で動かしてみて，指示位置が常に変わらなければ指示器は正しいとみてよい。指示位置が不定なときは指示器の不良である。

指示器は良で指示が不良の場合は，送油ポンプの電動機が逆転していないか又は単相運転していな

いか、電動機回路の配線を調査する。指示器が不良のときは、指示板を外して軸受マグネットその他の機構を点検する。

前記の調査点検をしてもなお不明なときは、製造業者に連絡する。

- b) 送油ポンプ停止中に油流指示器の指示が“正”又は“逆”を指示している場合は、指示器の不良とみられるためa)に記載のように指示器を点検する。
- c) 指示が“逆”・“止”のときでも警報接点が動作しない場合又は“正”で動作する場合は、指示板を外して中にあるマイクロスイッチの動作及び制御回路の導通を点検する。

6.10.6 差圧継電器

送油水冷式変圧器の冷却器に取り付けて冷却水と絶縁油との差圧を監視し、油圧が水圧よりも低くなった場合を検出する継電器である。

構造は、ベローの両側に各圧力を加えその差圧に比例するベローの動きを拡大して指針に伝え、差圧が規定値以下になると接点を閉じて警報を発する構造となっている。

取り付けの際に高圧（油）と低圧（水）の接続口を誤ると継電器の機構を破損するため注意を要する。定期点検時にはガラス窓の清掃を行い、動作が確実かどうかを確かめる。日常点検では油漏れ及び水漏れの有無を点検する。

図73に、差圧継電器の構造を示す。

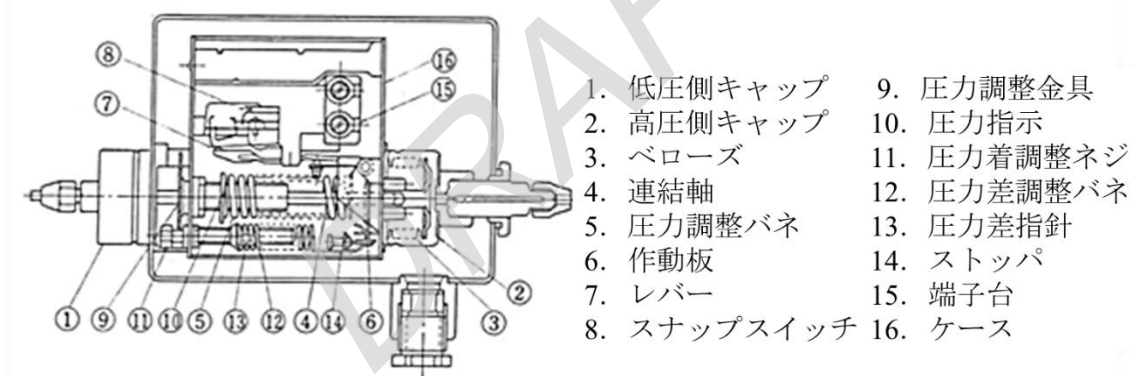


図73—差圧継電器の例

6.10.7 漏洩検知器

水冷式冷却器で冷却管を2重構造にしているものに取り付けられ、冷却水（又は絶縁油）の漏れを監視・検出する継電器である。冷却管から漏れた冷却水（又は絶縁油）は、内管と外管の間に設けた漏洩検知溝を通して漏洩検知機器に集められる。

内部には浮子があり、使用する際にはケース底部の水抜き栓を開けて浮子ストップを取り外しておく必要がある。漏洩検知器に集められた冷却水（又は絶縁油）が規定量になると、浮子の上昇によってマイクロスイッチを閉じて警報する構造になっている。ケースの前面にはのぞき窓が設けてあるので内部を監視できる。

図74に、漏洩検知器の構造を示す。

定期点検時にはのぞき窓の清掃と浮子の状態を点検する。、日常点検では水漏れ及び油漏れの有無を点

検する。

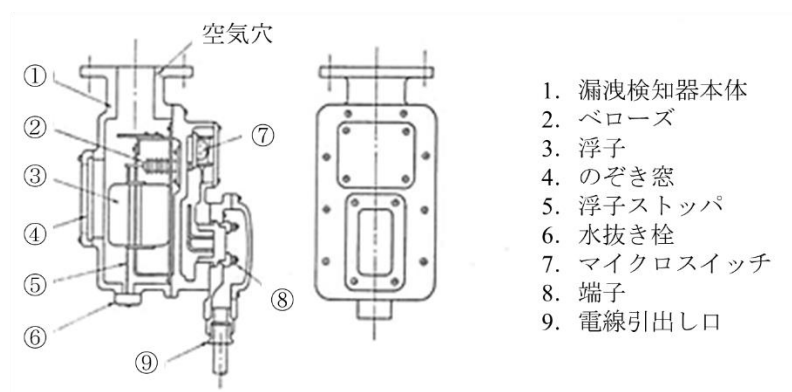


図74—漏洩検知器の一例

6.10.8 温度継電器

温度継電器は変圧器の油温度があらかじめ設定してある温度を超えると接点が閉じ警報装置を動作させる。警報装置としてマイクロスイッチを用いたものがあり、その構造の一例を図75に示す。感温部の中に液体が封入されており、それを変圧器油中に入れてある。

液体の膨張収縮によって継電器本体内のベローズを伸縮させマイクロスイッチを動作させる。。他に電氣的温度指示装置があり、いずれも熱的保護を行う。詳細は6.9.3及び6.9.4を参照されたい。

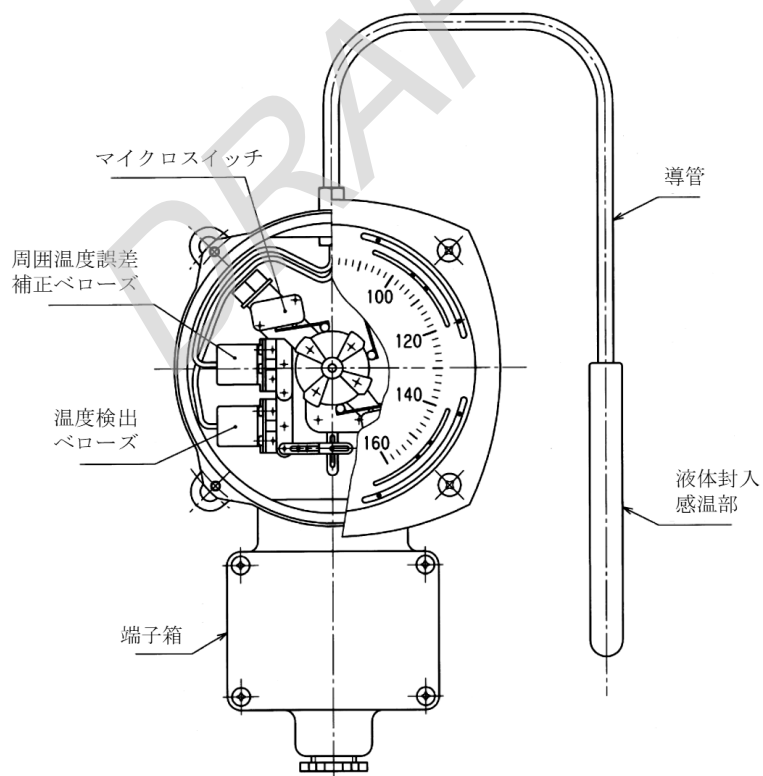


図75—温度継電器の一例

6.10.9 負荷時タップ切換装置の保護装置

6.4.9を参照する。

6.10.10 電氣的保護装置

過電流継電器・差動継電器・比率差動継電器等があり、これらの一部、又は全部が適用されているが、これらは配電盤に取り付けられており、配電盤計器に準じて点検する。

6.11 放圧装置

6.11.1 放圧管

図76に示すように、一般には放圧管は放圧板の位置が最高油面よりも高くなるようにカバー上又はタンク壁に取り付けられる。内部事故によって発生したガス及び油の膨張分は急激に放圧管内を通り、放圧板を破って外部に吐き出され、タンク内の圧力上昇を防ぐ。開放式、窒素封入式、及び空気密封式等では、放圧管上部の空間部分の圧力とコンサベータ上部の空間の圧力とを等しくするために連通管で結んである。開放式のものでは放圧管の内壁に付着した水滴を取り出すため放圧管を二重構造とし、水抜栓を使用しているものもある。隔膜式及び金属ベロー式では放圧管を油で満たしており、連通管はない。

普通の放圧板は、所定の圧力差で破壊するように製作されている。したがって、放圧板の取り換えにあつては予備品を使用する。

定期点検時には放圧板にき裂を生じていないかを点検する。真空注油を行う場合には、そのままでは外圧で放圧板が破壊するものについては放圧板の外部に蓋を取り付け、更に放圧板の内側と外側を連通管で接続し真空に引いても放圧板の内外の圧力が等しくなるようにする必要がある。

現地組立時又は輸送時に放圧板にき裂を生じることがあるため、運転を開始する前には放圧板を点検しておく。

放圧管は、この他に図77～図79に示すような構造のものがある。図77～図78の放圧管は、特に窒素封入式変圧器に用いられる。図77に示すものは放圧板自体の破壊圧力は2 kg/cm²くらいであるが、動作圧力は適宜調整できるようになっている。ベローとスプリングで構成される機構によって内圧が整定値以上になると、ナイフエッジ止のつめが外れナイフエッジによって放圧板を衝撃的に破壊するようになっている。警報装置付の場合には放圧管内にマイクロスイッチを設けてあり、ナイフエッジが動作すると警報を発する。

動作圧力調整用ねじは製造業者が調整し回り止めを施してあるため、みだりに動かしてはならない。

図78に示す放圧管は放圧板の外側に保護蓋があり、内圧によって放圧板に加えられる力は保護蓋を通してこの取付けピンに加わり、所定以上の圧力になるとピンは切れて保護蓋はスプリングの力で外側に開く。このため、放圧板は外側に自由に変形する。

放圧板のすぐ外側にはナイフエッジが取り付けられてあり、外側に変形した放圧板に当って瞬時に破壊して放圧が行われる。点検時は、保護蓋が正常に固定されているかどうか、ピンの切断、損傷がないかを見る。

図79に示す放圧管は自動復帰型である。放圧板は鉄製で、圧力調整ばねによって放圧管に押し付けられている。事故発生によって内圧が上昇すると、その力がばねに打ち勝って放圧板を押し開き油を放出する。内圧が降下すればまた復帰する。タンクを真空に引く場合にも放圧板の強度は十分もつようになっている。

点検時は、放圧板にひび、割れがないかどうか、空気漏れ、油漏れがないかどうかを見る。

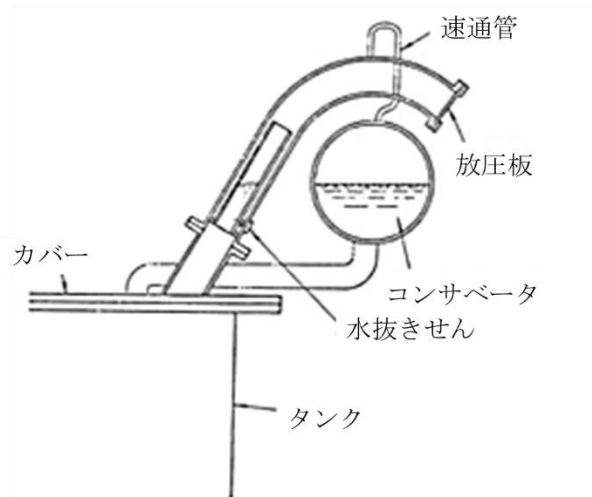


図76—放圧管の例（その1）

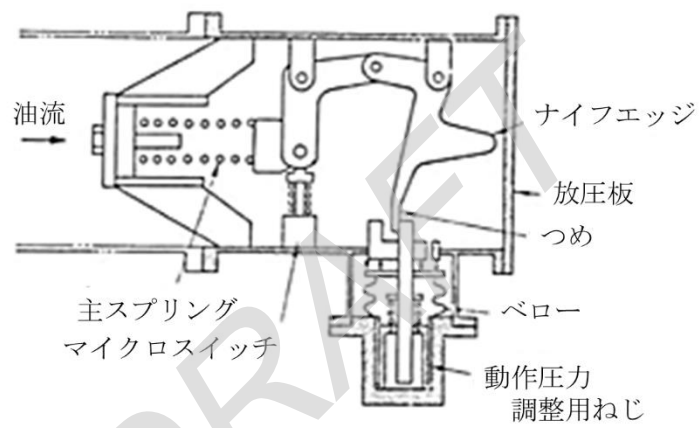


図77—放圧管の例（その2）

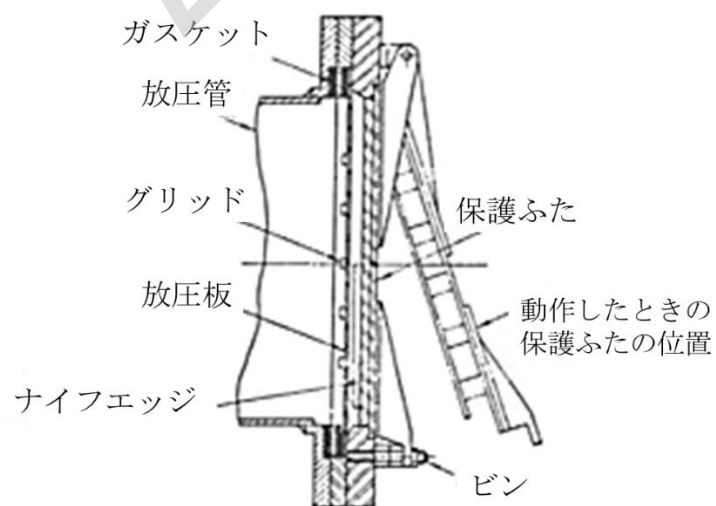


図78—放圧管の例（その3）

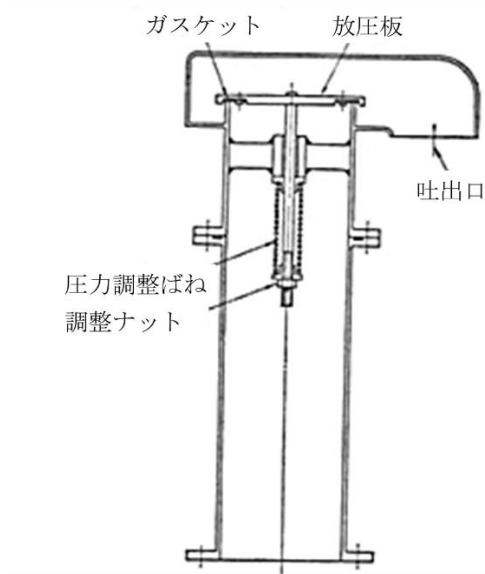


図79—放圧管（自動復帰型）の例（その4）

6.11.2 放圧警報装置

放圧警報装置は放圧管の動作の警報を発するもので、警報の機構は種々あるが各種類について特別な名称はない。

図80は放圧板の破裂によって生じる膨張袋の膨張圧力を受圧板に伝え、下部のマイクロスイッチの接点を閉じるもので、内圧の変動によって放圧板にき裂が生じた場合でも警報を発することができる。装置の点検は、受圧板の移動時にマイクロスイッチが完全に動作するかどうかを確かめればよい。これは、受圧板を外側に引っ張れば下部のレバーがマイクロスイッチ接点を閉じるため、簡単に点検できる。

膨張袋及び放圧板の取り換えは予備品を使用する。予備品は備えておく。

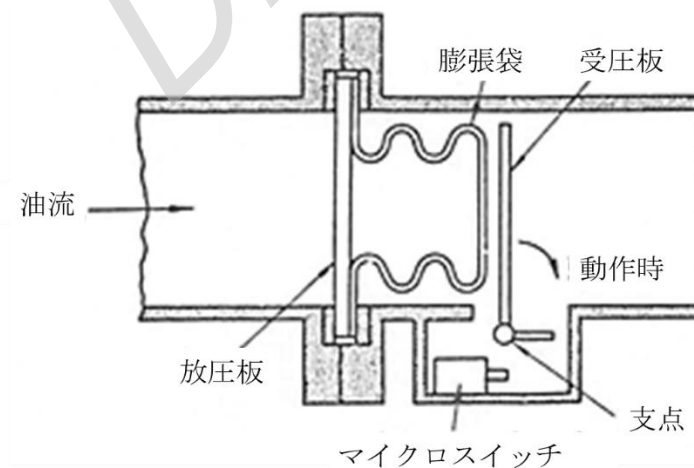


図80—放圧警報装置の例

6.12 吸湿呼吸器

変圧器油の温度変化による呼吸作用のため外気と共に変圧器内部に吸入される湿気、ちり（塵）を除去するもので、変圧器の呼吸路と外気間に設けられ、図81のような構造となっている。

機構的には吸湿剤及び油を入れる容器とこれを支持する締付け金具類から構成される。外気が呼吸口以外から吸い込まれてはならないため、ガスケット部等の締付けを確認する。

また、油つぼの油面は規定面以上であっても以下であってもよくない。吸湿剤に油が浸潤しているのは油つぼへの油の入れ過ぎか内部事故による場合で、内部事故のときはその原因を究明しなければならない。

いずれの場合も、吸湿剤は新品と取り換える。吸湿剤としては、シリカゲル、活性アルミナ等がある。シリカゲルは、吸湿量が重量比で20%～25%以上の変色で取り換えるか、乾燥再生処理を行う。活性アルミナも変色している場合は、同様に取り換えるとよい。

なお、シリカゲルの飽和吸湿量はおよそ35%である。再生は、清潔ななべ、皿等に吸湿したシリカゲルを移し、ときどきかきまぜながら100℃～110℃の範囲で元の色に戻るまで加熱するか、又は細めの金網を書類箱状の容器に内張りし、シリカゲルを薄く撒布してろ紙乾燥器に宙づりし、100℃～140℃の範囲で4～5時間乾燥する。

近年では保守の観点から、油つぼの代わりにシール機能付逆止弁を設けて油をなくしたオイルレスブリーザ、シリカゲルを容器ごと専用再生装置で再生処理を行い再利用することで産業廃棄物が発生しない環境調和型ブリーザ、またはヒータを設け吸湿剤の水分を自動で除去するメンテナンスフリーブリーザ等が適用されている。メンテナンスフリーブリーザは自己診断機能が付いており診断に従った保守が可能である。

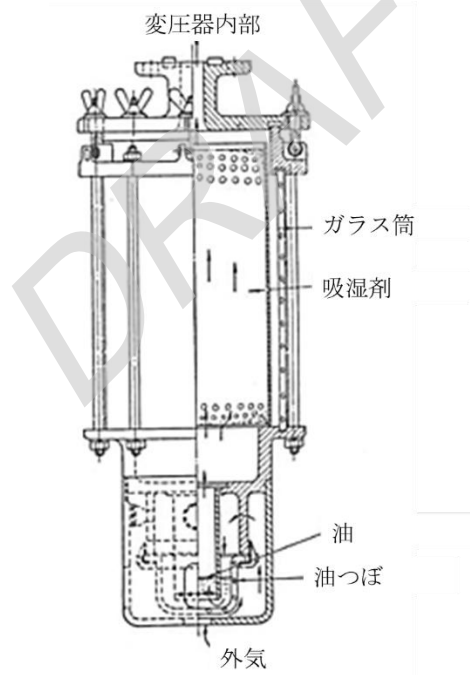


図81—吸湿呼吸器の例

6.13 タンク及び継ぎ目

変圧器を組立てて運転する前には、あらゆる開口部分を固く締めて、呼吸口以外は空気の流出入、ガス、油の流出が全くない状態にすることが重要である。

接合面には、適切なガスケット（コルク、コルク合成ゴム、合成ゴム、耐熱性合成ゴム等製造業者の推奨するもの）を所要の寸法に切り取って貼り付け、一様に固く締め付ける。また、必要に応じてねじ部分

は適切なコーキング剤を塗って堅くねじこむ。

すべて継ぎ目に当たる部分の表面は、ごみ、油等を除いて清浄にしなければ、後で漏れの原因となる。

組立てた後では、一度、漏れ箇所がないかどうかを十分調べる。特に古くなった変圧器では、よく清掃してからでないと漏れ箇所がわからない場合が多いため、特に注意を要する。不良箇所があれば直ちに修理し、その後再調査して修理を確認しておくことが必要である。

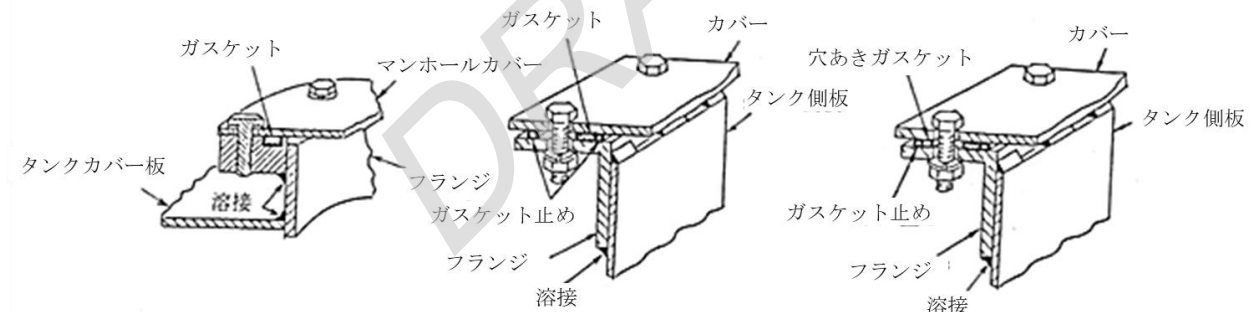
6.13.1 ガasket継手

a) ガasketの適用 ガasketは、製造業者によってその種別、取り付け方法が異なるので、まず製造業者へ照会し、その指示に従って保守・点検を行うのが望ましい。一般には**a)の1)～4)**を参照し実施する。フランジ面としては一般の油入変圧器に対してはコルク、コルク合成ゴム、耐油性ゴム、耐熱性ゴムが用いられているが、コルクはしだいに用いられなくなっている。材料の進歩が著しいので、製造業者に照会しその適用基準によることが望ましい。

- 1) 耐油性ゴムは、タンクフランジ部、カバー、ハンドホール等の油密部に用いられる。
- 2) コルク合成ゴムは、油中及び気中のフランジ部に用いられる。
- 3) 耐熱性ゴムは温度仕様が高的場合等にフランジ部、ハンドホール等用いられる。

b) ガasketの取り付け方 ガasket継手の実施例を**図82のa)～c)**に示す。

- 1) ガasket取り付け部の表面から、さび、ごみ、油、グリース等を除くために、よく清掃し、シンナー、アルコール等で洗い落とす。
- 2) ガasketを当てる前に接着剤を塗るときは、ガasketをガasket面に固定する程度にとどめておくのがよい。



a)マンホールの例

b)タンクカバーの例1

c)タンクカバーの例2

図82ーガasket継手の実施例

6.13.2 ねじ継手

- a) ねじ自体が不完全なときは、正しくねじを切り直すか又はタップを立て直す。
- b) ねじ部に塗る充填剤又はシール剤（シールテープ）には油に溶けないもの、収縮しないもの、柔軟性を保持するものを使用する。
- c) ねじ部は、まずシンナー、アルコール等でよく清掃して、シール剤を雄ねじ全面一杯に塗り付け、約5～10分間放置してから、ねじ合わせを行う。
- d) ねじ継手をねじこむ場合、最後に逆もどしてはならない。これは漏れの原因となる。

6.13.3 漏れ箇所を見付ける方法

- a) **油面から下の場合** 漏れていると思われる付近を洗浄液等によく洗い、カラーチェック現像液を吹付けると、漏れている箇所は赤色として現れる。
- b) **油面から上の場合**
- 1) **窒素ガスを用いる方法** 窒素ガスを適切な圧力（ゲージ圧0.03 MPa～0.04 MPa位で機器の使用圧力を考慮して決める）で詰め、液状石鹼と水との溶液を溶接部分、ねじ部分、又はガスケット部分に石鹼泡が生じないように塗り付ける。漏れている箇所からは気泡が現れる。この際に放圧装置が動作しないように考慮する。
 - 2) **トレーサガスを用いる方法** トレーサガスを適切な圧力で詰め、専用の検出器で探知する。ガスは無毒性であるため心配なく、かつ、長時間に絶縁油と接触することがなければ、溶解して絶縁油の耐力に影響することはない。

6.13.4 タンクの漏れを発見したときの処置

- a) 締め直しても、なおガスケット回りの油漏れ又はガス漏れが止まらないときは、新しいものに取り換えなければならない。
- b) 弾性が少ないガスケット及び塑性変形しているガスケットを再使用することなく、新しいものと取り換える。
- c) 油入のタンクの漏れ部を溶接して修理する場合、その熱によって油、塗料及び絶縁物が熱分解するおそれがないかどうかを考慮するため、製造業者に相談するのが望ましい。
- d) 溶接箇所の小穴を最も簡単に修理するには、たがねで丁寧にコーキングする場合もある。
- e) わずかの漏れを接着剤、コーキング剤、バリア剤等で塞ぐことは応急的には効果がある。
- f) 鋳物の漏れには、溶接やコーキングが適用できないため取り換えるのがよい。漏れの箇所が重要な場合は、製造業者に相談することが望ましい。

6.14 塗装

6.14.1 塗装の目的と塗り直しの必要性

変圧器タンクの塗装は、金属表面の発せい（錆）、腐食防止及び美粧を目的として行われる。長年月の使用で、塗膜は太陽光線、温度変化、湿気、化学的雰囲気等によって劣化し、塗膜のき裂・ふくれ・はく離・塗面の発せい（錆）を生じる。これらをそのまま放置すると外観も見苦しく、また発せい（錆）部分が広がりタンク寿命を低下させることになるため、一部分又は全体の塗り直しを適宜行い、タンクの発せい（錆）、腐食を避けなければならない。なお、塗膜が変圧器の冷却効果に及ぼす影響は僅少である。

6.14.2 塗料の種類

変圧器の塗料としてはアルキッド樹脂（主にフタル酸樹脂）、ポリウレタン樹脂又はエポキシ樹脂等の合成樹脂塗料が広く用いられている。

下塗り塗料としてジクロメートプライマ、フタル酸プライマ、エポキシ樹脂プライマ等が用いられる。これらの塗料には非常に多くの種類があるが、主としてさび（錆）止めのための下塗り塗料（サーフェサ）及び、主として色彩を与えるための上塗り塗料に大別され、性能別には耐水塗料、耐薬品塗料等に分けられる。表10に各種塗料の性質の比較を示す。

表10—各種塗料の性質

種類	乾燥法	乾燥時間 (h)	硬さ	密着性	耐候性	耐湿性	耐酸性	耐アルカリ性	耐油性	耐熱性 (°C)
アルキッド樹脂塗料	常温	15	6	90	A	B	B	C	B	80
エポキシ樹脂塗料	常温	18	15	100	B	B	A	A	A	120
ポリウレタン塗料	常温	10	18	90	A	A	A	A	A	120

注記 凡例
 硬さ：フォード，ロッカで測定した数値。
 密着性：基盤目試験における密着度の百分率。
 耐候性・耐湿性・耐酸性・耐アルカリ性・耐油性：最高をAとし，最低をCとして表す。
 耐熱性：連続加熱として著しい変化がない温度。

6.14.3 塗装方法

塗装に先立ち，塗装面の素地調整を行う必要がある。塗膜があまり劣化していない場合は，まず表面に付着しているじんあい（塵埃），油，水分又はその他の付着物等を水，湯または洗剤で洗って除去し，次いでサンドペーパーで軽く荒した後すでに塗ってあるものと同質の塗装を行う。

劣化がひどいときは下塗りまで完全に落として再塗装を行う。塗膜の除去にはスクレーパー，ワイヤブラシとサンドペーパー等の機械的方法と，塗膜除去剤を用いる化学的方法とがある（後者の方法を用いた場合は，塗膜の除去後，水洗い，湯洗い等を完全に行い十分乾燥させる必要がある）。

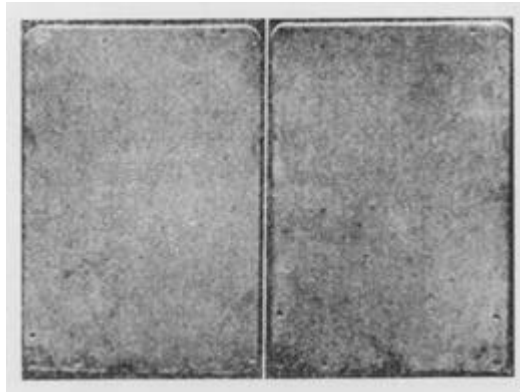
いずれにしても塗膜を完全に除去し，さび（錆）のでている部分はサンドペーパーでこれを完全に取り除き，その後は放置することなく直ちに塗装を行わなければならない。このような素地調整が十分でないとき新しい塗膜が密着せず，また塗膜の防せい（錆）効果が発揮されないため，特に注意する必要がある。

塗装にあたっては，古い塗膜の系統を確かめ，特に別系統の塗料を使用するときは古い塗膜と組み合わせ支障がないかを検討した上，新しい塗料を決定し，次いで適切な溶剤で塗料を希釈してから刷毛又はスプレーガン等を用いて塗装を行えばよい。

6.14.4 塗料塗替え基準

- a) **補修塗装** 運搬，据付け時に塗膜が傷ついたならば，変圧器の運転に先だち補修塗装を行う必要がある。
- b) **塗替え基準** 一般に変圧器の塗装は，設置条件によって損傷の程度が異なるが，発せい（錆）部分が面積比にして0.2 %～0.5 %程度になったときに塗り替えるのが素地調整，塗装関係その他すべての点で著しく経済的になる。

さび（錆）の発生が面積比1 %以上で，古い塗膜がはく離しているか，又は付着がひどく悪くなっている場合は，全面的に古い塗膜及びさび（錆）を除いて塗り替える必要がある。また，発せい（錆）その他異状部分が一方に偏っている場合は，異状部分の古い塗膜及びさび（錆）を完全に除去し，除去しない部分との境目はなだらかに新しい塗料が古い部分にも十分回るようにする。なお，発せい（錆）部分の面積比は図83 a)及びb)を参照のうえ判断する。



a) 0.5 % b) 3 %

図83－発せい（錆）部分の面積比

6.14.5 塗装計画

塗り替えを行う場合には、次の項目別に計画を立て、作業を実施する。

- a) **塗料の選別** 変圧器の据付け場所の環境（例えば、化学工場付近、海岸地帯、高温高湿の場所）を考慮し、適切な種類の塗料を選択するが、最初の塗料と同系統のものを使用することが望ましい。
- b) **塗装色の決定** 塗り直しの場合、最初の塗装色に合わせるのが普通であるが、別の色に塗り替える場合は、周辺色とのバランスを考えて新しい色を決定することが望ましい。充電部は危険表示のために別な色（通常は赤又は黄赤色）に塗り分ける例も多い。
- c) **塗装方法及び塗装回数**の決定 被塗装物の寸法形状、数量、又は古い塗膜の状態等によって塗装方法及び塗装回数を決定する。

6.14.6 塗装作業上の注意

塗装作業上の注意点を次のa)～g)に示す。

- a) 塗料は引火しやすい物質であるため、保管、取扱いに注意する。
- b) 密閉状態（例えば防音建屋内）で作業する場合は、換気を十分に行う。
- c) 塗装は湿気、ちり（塵）の多い時期を避けて実施する。
- d) 乾燥時間を十分かけてから上塗りを行う。
- e) 塗膜が厚すぎると乾燥しにくく、また塗膜に縮み、しわが生じやすいので、厚い塗膜を要するときは一度に厚く塗らず、塗装回数を増す。
- f) 銘板、温度計等の計器、端子金具、計器類の亚克力板その他機構上塗ってはならない場所（例えば冷却扇の回転軸、放圧装置の可動部等）に塗料が付着しないように注意する。
- g) 計器類の亚克力板に塗料が付着した場合、ガソリンその他の溶剤では亚克力板表面にき裂が発生するので乾布等で清掃する。

7 特殊変圧器

7.1 不燃性油変圧器の保守

7.1.1 概要

不燃性油変圧器に封入されている絶縁油は、古くは塩素化合成油すなわちPCB油であり、人体に影響を及ぼす毒性が明らかとなったため現在は使用が禁止されている。高濃度PCB入りの変圧器はすでに処分期間が終了しているため、まだ処分をしていない機器に関しては、環境省のホームページ（ポリ塩化ビフェニル(PCB)早期処理情報サイト、<http://pcb-soukishori.env.go.jp/>)を確認し、早急に対応する必要がある。

7.1.2 不燃性油(PCB油)の特徴

不燃性油変圧器に使用されていた国産の絶縁油の商品名としては、としては、カネクロール・ヒタノール・ダイヤクロール・シンクロール・シバノール・その他があり、いずれもビフェニール、ベンゾール等に塩素を添加した塩素化合成油すなわちPCB油である。したがって鉱油と違う特徴があるため、PCB油不含の変圧器とは異なった配慮が必要である。不燃性油の特徴は次のとおりである。

- 1) 有機物に対する溶解力が鉱油に比して極めて大きい。
- 2) 比重が鉱油の約1.7倍(比重約1.5)である。
- 3) 鉱油と混合しやすく、混合すると難燃性が低下する。
- 4) 分解した場合、塩化水素ガスを発生する。
- 5) 若干の刺激性がある。
- 6) 油自体難燃性で、この蒸気も不燃で非爆発性である。
- 7) この種の油入変圧器は、一般の変圧器に比べ絶縁抵抗が低く、 $\tan\delta$ は高くなる傾向がある。

7.2 乾式変圧器の保守

乾式変圧器の保守については、JEM-TR 124:1979による。

7.3 モールド変圧器の保守

モールド変圧器の保守については、JEM-TR 218:2019による。

8 故障及び対策

8.1 事故の原因

変圧器事故の原因を究明することは事故対策及び保守・点検指針の根幹となるが、事故の原因は一般に単純なものは少なく、多様な事項が関連して、原因の区別が判然としない場合が多い。

故障が発生し、その対策を立てるに当たっては、その実態の把握を行って原因を調査し、それに基づく処置をとらなければならない。事故の原因について大略の分類をすると次のとおりである。

- a) 仕様の不備によるもの
 - 1) 絶縁階級の選定の誤り
 - 2) 電圧タップの不適
 - 3) 容量の不適
 - 4) 設置場所の環境無視（例えば、湿度・有毒ガス・温度等）
- b) 製作の不備によるもの
 - 1) 設計・工作の不良
 - 2) 材料の不良、導電・磁気材料容量の不適

- 2.1) 絶縁材料の不良
- 2.2) 構造材料の不良
- c) 設備の不備によるもの
 - 1) 施工不良
 - 2) 避雷器の性能及び保護範囲の不備
 - 3) 保護継電器・遮断器の不備
- d) 運転, 保守の不備によるもの
 - 1) 外部導体接続部分の弛緩発熱
 - 2) 絶縁油の劣化
 - 3) ちり・塩害等に対する点検手入れの不備
 - 4) 結線の誤り
 - 5) 過負荷又は過励磁
 - 6) 冷却水系統処理の不注意
 - 7) 操作過失
 - 8) 保護継電器関係の点検不備
 - 9) ガasket・弁類の点検不備
 - 10) 附属品の保守不良
 - 11) 避雷器の性能及び保護範囲の不備
 - 12) 保護継電器・遮断器の不備
- e) 点検後の現状復帰不備
- f) 異常電圧によるもの
- g) 自然劣化によるもの
- h) 天災によるもの

これらの原因によって発生した故障は、一次的原因が二次・三次の事故を誘発し調査確認を困難にするが、結果的に事故時の運転状況、保護継電器の動作記録、各種点検記録等、保守・点検の記録が原因究明の有力な助けとなることが多い。

8.2 故障の種類

重大な変圧器の事故は、巻線等の絶縁の破壊によるものであり、被害も大きく、ほとんど工場修理を必要とする。このほかブッシング、タップ切換器又は口出線等の故障があり、鉄心及びその締付金具の故障、並びに巻線押えの緩みのほか、接地片の接触不良もまれにある。更に冷却扇、送油ポンプ又は水冷式冷却器等の補機の故障、放圧板・ダイヤル温度計等の附属品の故障及び溶接部・取付部のガasketの油漏れ等がある。負荷時タップ切換装置の故障には、電動操作機構部分及び制御回路の故障がある。変圧器の故障を内部の故障と外部の故障に分けて分類すると次のようになる。

- a) 変圧器内部の故障
 - 1) 巻線
 - 1.1) 絶縁破壊
 - 1.2) 巻線の断線・変わり(歪)

- 2) 鉄心
 - 2.1) 積層鉄板間の絶縁破壊, 接地不良
 - 2.2) 鉄心締付ボルトの絶縁破壊
- 3) 中身取付金具
- 4) 口出線, 無電圧タップ切換器
- 5) 絶縁油
 - 5.1) 流動帯電による絶縁破壊
- b) 変圧器外部の故障
 - 1) タンク
 - 1.1) ガasket・弁・溶接箇所等の不良による油漏れ
 - 2) 附属品
 - 2.1) ブッシング, 吸湿呼吸器, 放圧装置, 温度計, 油面計, ブッシング変流器, 油劣化防止装置, 保護継電器等
 - 3) 冷却装置
 - 3.1) 水冷管, 冷却扇, 送油ポンプ, 制御装置等
 - 4) 負荷時タップ切換装置
 - 4.1) 機械的駆動部分, 制御装置・接触子等

8.3 故障の抑制

8.3.1 概要

故障の発見は早いほどよいことはいうまでもない。このために保守・点検には細心の注意が要求され、日常点検、定期点検の基準が定められている。これによって大部分の故障を未然に発見又は被害を僅少にとどめられる。

8.3.2 突発的な事故

絶縁破壊の多くは突発的に起こる。特に雷撃又は異常電圧による絶縁破壊は突発的であり、直接的である。

外部短絡事故による過電流及び機械的衝撃も突発的な発生であり、補機電源の停電、地震及び火災等による変圧器の事故は偶発的である。

8.3.3 緩慢に発生する故障

緩慢に発生する故障を早期に発見することが、保守・点検にとって重要である。緩慢に発生する故障には次のものがある。

- a) **外部短絡に起因する巻線及び絶縁物の機械的衝撃力による変形** 変圧器は一般に外部短絡に対しては熱的にも耐えるように設計製作されている。しかし、はなはだ頻度の激しい機械的衝撃を受ければ次第に微細な変わい(歪)も大きくなり、ついには内部事故にまで進展することがある。
- b) **鉄心の絶縁不良に基づくもの** 鉄心積層板の層間絶縁の不良及び鉄心締付ボルトと鉄心間の絶縁チューブの不良、その他、磁束に対し短絡回路を形成する絶縁不良はその部分に常時短絡電流を通じ、局部過熱を起こす。局部過熱を起こすとその部分の絶縁は更に劣化し、大事故へと進行する。

- c) **過負荷等運転条件の苛酷さによる絶縁劣化** 変圧器は運転中の温度上昇のもとに長年月使用されると漸次絶縁物に劣化を生じ、過負荷のときは絶縁物を加熱することになり、更に劣化を促進し、ついには大きな事故にまで進展することがある。
- d) **吸湿、酸化又はコロナ発生等による絶縁物・絶縁油・ブッシング等の絶縁劣化**
- e) **絶縁油の絶縁劣化** 絶縁油中に含まれる活性硫黄の含有量によっては、裸の銅又は銀めっき部に導電性の硫化物（硫化銅・硫化銀）が生成し、これがはがれて絶縁間隙を小さくし絶縁低下を招くことがある。これは外部からの電氣的試験と絶縁油の分析によって容易に診断できる。対策としては、活性硫黄の少ない絶縁油と交換すること。また、裸の銅・銀めっき部分を無くすようにテーピング、ワニス処理等を行うとよい。
- f) **風雪、塩塵害による外部絶縁の低下** 外から見えることもあり、保守・点検により状況を確認することが可能な場合もある。
- g) **附属品の故障、油漏れ、窒素漏れ等**

8.4 変圧器の内部事故

8.4.1 巻線の事故

- a) **短絡** 短絡事故には巻線間短絡、層間短絡、コイル間短絡がある。一般に雷による系統異常電圧に起因した事故が多いが、絶縁油の劣化、導電性の硫化物の生成による絶縁低下、雨水の侵入、冷却水の油中への漏れによることもある。また回路短絡時の電磁機械力、又は異常過負荷による熱劣化によるとみられる場合も多い。一般に内部短絡によって二次的にはなはだしいコイルの変わい（歪）をきたす。
- b) **断線** コイルの接続箇所、口出線等のはんだ付けが過電流（外部短絡等）、又は雷撃のために溶断することがある。また系統短絡事故が累積してその強大な機械力の繰り返しによって、巻線支持が不完全になるために断線することもある。
- c) **地絡（又は高低圧間混触）** 衝撃電圧の侵入・絶縁劣化・導電性の硫化物の生成による絶縁低下・漏水等によって巻線・口出線が鉄心・タンク等に地絡を起こすことがある。

a)～c)の事故は、外部からの診断又は電氣的試験で容易にわかる。

8.4.2 鉄心の事故

鉄心の事故には、印加電圧の選定誤りによる過励磁過熱、鉄板積層間絶縁の不良（特に絶縁物として水ガラスを使用した古い変圧器）、鉄心締付ボルト絶縁の不良及び接地不良又は冷却油道の閉そくによる鉄心の過熱等がある。普通巻線の事故は突発的であるのに対して、鉄心の事故は緩慢に進行する。こういった絶縁不良・接地不良によってその部分に短絡電流が流れ、局部過熱を起こし、その付近の絶縁物・油を劣化して大事故に進行する。また、鉄心の締付不備のため、又は保持の不良で振動音を発生することもある。

8.4.3 その他の事故

口出線の事故としては衝撃電圧の侵入による絶縁破壊、支持材の配置の不備又は材質不良による口出線間及び口出線とアース間の短絡がある。無電圧タップ切換器の事故としては、口出線と同様の事故の他に切換器駆動軸の機械的破壊があり、また駆動部の不良によって接触子がタップ中間で止まること、又は接触子の接触不良によってアークが発生すること、接触子が過熱することがある。

8.5 内部事故の検出

8.5.1 概要

突発的な事故の検出・保護には一般に継電器を使い、緩慢な故障の検出には主として測定計器を使用する。内部事故に対する保護装置としては次のものがある。

- a) 変圧器に直付けし、機械的に検出するもの
- ・ ブッフホルツ継電器 (図84参照)
 - ・ ピトー継電器
 - ・ 衝撃圧力継電器
 - ・ 放圧弁

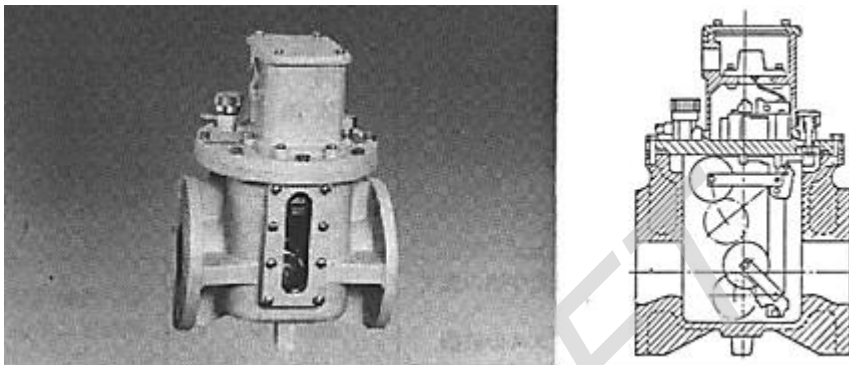


図84—ブッフホルツ継電器の外観及び中身の一例

- b) 変圧器制御盤等に取り付け電氣的に検出するもの
- ・ 差動継電器
 - ・ 比率差動継電器
 - ・ 過電流継電器
 - ・ 接地継電器。

8.5.2 ブッフホルツ継電器による検出

ブッフホルツ継電器はコンサベータ付き変圧器に広く採用されている機械的な継電器でピトー継電器もこれに準じており、構造は6.10を参照する。第一段は軽故障用で変圧器内部の絶縁物・有機質の構造材料が焼損したり、油の熱分解によってガスが発生した場合、このガスが変圧器上部からコンサベータの方へ移動し、途中のガスだまり室にたまる。このガスが一定量以上になると、浮子が下がって電気接点を閉じることになる。第二段は重故障用で変圧器内部の絶縁破壊・断線等による二次的熱及び油中アークによって絶縁物・油の分解時に発生するガスでタンクの内圧が急激に上昇し、コンサベータへの油の流れが急激に生じたときに動作する。すなわち、ブッフホルツ継電器の特徴は、巻線事故等の大事故を第二段で検出する他に、接触不良・鉄心の積層間絶縁破壊・油面の低下等、初期の軽微な局部事故を早期に第一段で検出できることである。覗き窓からガスの色、目盛によるガス量の測定が可能で、採取する栓を有している。ガス採取に際しては外部空気が混入しないように注意が必要である。方法としては適切なガラス管と水銀で真空を造ってガスを採取するか、ガス採取用ゴム袋をもって変圧器内圧を上げてゴム袋にとる等の方法がある。この発生ガスの量及び質によって故障箇所の状況、程度が推定されるが、表11のようにガスの色によっても推定できる。また、内部異常の種類による発生ガスの違いを表13に示す。

固体絶縁物は、分解すると水素の他に一酸化炭素と炭酸ガスを生じる。したがって、ガスの中に一酸化

炭素があるときは固体絶縁物の破壊とみてよい。

油の気化は260℃～400℃で起こるが、これは凝縮性があるためブッフホルツ継電器にはたまらない。油は400℃を超えると分解を始める。なお、プレスボードの分解ガス発生は150℃以上で起こる。

ガス分析の結果に基づいてガス発生の速度とブッフホルツ継電器の動作及び変圧器の事故との関係を示すと表12のようになる。

表11—発生ガスの色別による故障推定

発生ガスの色別	推定故障箇所
灰色	油の分解
黄色	支え木等の木材の故障
白色	絶縁紙の損傷

表12—ブッフホルツ継電器の動作と事故の推定

ガスの正体	事故の推定	動作理由	動作種類
ガスなし	多量の金属が260～400℃に過熱された場合、即ち接地事故、短絡事故で絶縁物の損傷はない場合	260～400℃における油の気化	第二段動作
空気又は不活性ガスだけ	変圧器タンク、配管、ブッフホルツ継電器容器等の破損、送油ポンプの故障	機械的故障による吸気故障大	第一段動作 ガスを除いても直ちに繰返し動作する (A)
		同上 故障中	第一段動作 ガスを除いても数分ないし数時間内に再び繰返し動作する (B)
		同上 故障小	第一段動作 ガスを除いた場合長時間正常を保つ (C)
	上記のわずかな場合及び不完全な油の充填 ブッフホルツ継電器容器のガラスの破損	同上 故障僅少	第一段動作又はブッフホルツ継電器に多少ガスがある
水素だけで一酸化炭素のない場合	端子間及び端子とアース間のせん絡で固体絶縁物を含まない場合	油だけの熱分解 400℃以上	第一段動作 第二段動作
	接触不良、鉄心締付ボルトの絶縁不良、鉄心の接地不良等		上欄の (A) 又は (B) に同じ
	上記のごくわずかな場合及び油中コロナによる油の分解		上欄の (C) に同じ
水素及び一酸化炭素	局部的で過電流による固体絶縁物を含んだ絶縁事故、即ち絶縁導体とアース間短絡、巻線間短絡	油及び固体絶縁物の熱分解	第一段動作 第二段動作
	同上で小電流の場合、即ち絶縁導体とアース間の小電流アークによる絶縁事故、巻線間の高抵抗短絡及び鉄心の焼損、接続部の故障等の事故の初期		上欄の (A) 又は (B) に同じ
	上記のわずかな場合		上欄の (C) に同じ

これはブッフホルツ継電器が完全に調整されて確実に動作した場合であるが、まれには誤動作があるため、その判定が必要である。

第一段に対する誤動作は、誤動作に対するものは、運転初期にみられる吸蔵ガスの放出及び絶縁油中に溶解したガスが温度によって過飽和となり、これが油流の衝撃等によって気泡となってブッフホルツ継電

器にたまる場合である。この誤動作は、ガスが無色・無臭で、分析すれば空気又は窒素であることによつて判定される。

第二段に対する誤動作は、地震による振動又は送油ポンプ起動時の油圧衝撃による動作である。これは、他の保護継電器との関連及び動作時の状況（例：放圧管の動作）を調査して判断する。

8.5.3 衝撃圧力継電器

変圧器の内部事故は分解ガスの発生によって、タンク内の圧力上昇をきたす。内部事故が急激な場合にはこの圧力上昇は衝撃的であり、6.10に記述したように衝撃圧力継電器が動作して電源遮断器を開く。この継電器の動作と変圧器事故の関係は、ブッフホルツ継電器の第二段動作とほとんど同じである。一般に、製造業者によって完全に調整されたものを付けるが、説明書による検査を行い、電気回路にも誤りがないか点検する必要がある。

8.5.4 放圧板（放圧管）

放圧板が動作した場合の変圧器事故は、ブッフホルツ継電器の第二段動作と同様のことが考えられる。また、吸湿呼吸器又は呼吸口の不良のために内圧が上昇して動作することもあるので、注意を要する。

8.5.5 電氣的保護継電器

差動継電器・比率差動継電器・過電流継電器・接地継電器等は、その動作と変圧器事故の関係はいずれもブッフホルツ継電器の第二段又は衝撃圧力継電器のそれとほとんど同じで、巻線の短絡事故・接地事故に対する継電器である。機械的継電器と電氣的継電器は併用されることが多い。電氣的継電器の構造動作は、それぞれの説明書を参照する。

8.6 内部事故の診断

8.6.1 概要

保護継電器が動作したとき、又は外部的に異常が認められたとき、まずそのときの状況、すなわち噴油の程度、音響、保護継電器の動作状況、負荷の状態、各部回路及び送電線路と系統の実状を調査して参考にすると共に、外部からの確認（電氣的試験、絶縁油試験、油中ガス分析）を行って、できるかぎり事故の調査を行い、中身の点検、修理に役立たせる。

8.6.2 電氣的試験

- a) **絶縁抵抗の測定** 接地継電器の動作によって地絡が起こったかどうかわかっている場合もあるが、変圧器の端子を外線から外して、各巻線の対地間及び各巻線間の絶縁抵抗を測定する。これによって、主絶縁の破壊かどうかの判定ができる。接地又は混触が起こっていれば、絶縁抵抗はほぼ0 Ωになる。正常な変圧器の最低許容絶縁抵抗値の目安は図10による。
- b) **巻線の導通又は抵抗の測定** 巻線の導通を確認して断線の有無を調べる。又は抵抗を測定して巻線焼損、層間短絡及び断線の有無を調べる。
- c) **変圧比の測定** 巻線の焼損及び層間短絡を判定するために200 V程度の電源で巻数比を調べる。
- d) **低圧励磁電流の測定** 定格電圧の1/10～1/3の電圧を印加して励磁電流を測定する。これが工場試験の励磁特性の電圧－電流曲線上にあるかどうかを調べる。層間短絡が発生していれば、微細な層間短絡であっても大幅に励磁電流が増加しているものである。可能な場合、印加電圧を変化して数点の励磁電流を測定するとよい。なお、励磁電流が小さい変圧器では判別できない場合がある。

- e) **短絡インピーダンスの測定** 変圧器内部又は外部の短絡事故による短絡電流の繰り返しによって巻線が変わい（歪）することがある。この場合、各巻線間の寸法、形状がずれ、変圧器巻線の漏れインピーダンスに変化をきたす。インピーダンス電圧に変化が認められた場合は、変圧器巻線にかなりの変形を生じていると考えてよい。

8.6.3 絶縁油の調査

- a) **絶縁油中ガスの分析** 保護継電器が動作した場合だけでなく、異常音又は他の何らかの原因で変圧器の異常が予想された場合、電気的試験の他に絶縁油中に溶解しているガスを分析する油中ガス分析によって事故内容の診断ができる。一般に異常の種類と発生ガスの関係は**表13**とされている。

表14に各種ガスの絶縁油に対する飽和溶解度を示す。

ガス分析は、紫外線（赤外線）スペクトル分析、質量分析、ガスクロマトグラフ分析等があり、一般にはガスクロマトグラフ分析が使われている。分析は変圧器メーカー、絶縁油メーカー、分析会社等に依頼して行うのが一般的である。

試料油を採取するには、一般に変圧器タンク下部に取り付けられた排油弁から、湿気、外気が混入しないように十分注意を払って採取しなければならない。

なお、採取容器については分析依頼するところに問合せ、十分注意を払って行わなければならない。

ガス分析による事故診断の内容については、電気協同研究第65巻第1号「電力用変圧器改修ガイドライン」に詳細が述べられている。

一例として、変圧器の異常有無と程度を示す区分について要注意Ⅰレベルを**表15**に、要注意Ⅱレベルを**表16**に、異常レベルを**表17**に示す。

なお、この油中ガス分析は、保守管理上定期的にガスを分析して経過を調査することによって事故を未然に防止することに有効である。

表13—異常の種類による発生ガス成分

ガス発生原因		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂	
過熱	絶縁油	低温	○	◎	◎	—	—	—	
		中・高温	○	○	—	◎	—	—	
		700℃以上	○	—	—	◎	◎	—	
	絶縁紙	—	—	—	—	—	◎	○	
放電	絶縁油	部分放電	◎	—	—	—	◎	—	
		アーク放電	◎	—	—	○	◎	—	
		絶縁紙	—	—	—	—	—	◎	○
経年劣化	絶縁油	酸素が多い場合	○	△	◎	—	—	◎	○
		酸素が少ない場合	—	△	△	—	—	—	—
		絶縁紙	—	—	—	—	—	○	◎
その他	ステンレス鋼の触媒反応，吸蔵H ₂		◎	—	—	—	—	—	
	未硬化のフェノール樹脂		—	—	—	—	—	—	
記号説明 ◎：重要度大，○：中，△：小 なお，表内の—は，関連性が低い発生ガスを示す。									

表14—各種ガスの絶縁油に対する飽和溶解度

(mL/100mL oil, 1気圧のとき)

ガスの種類	温度 (°C)		ガスの種類	温度 (°C)	
	50	80		50	80
O ₂	14.24	12.16	C ₂ H ₂	92.98	69.39
N ₂	7.22	8.77	C ₂ H ₄	113.02	82.36
CO ₂	69.00	53.77	C ₂ H ₆	168.34	116.56
CO	9.58	11.60	C ₃ H ₆	491.20	291.69
H ₂	4.86	5.69	C ₃ H ₈	540.22	326.66
CH ₄	30.17	27.22	i-C ₄ H ₁₀	1149.32	635.28

表15—要注意 I レベル

(ppm)

ガスの種類	TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO
濃度	500	400	100	150	10	0.5	300
注記	いずれか一つでもこの値以上となれば、要注意 I レベル。ただし、C ₂ H ₂ については0.5 ppm (定量下限値) の時には、即座に要注意 II レベルとなる						

表16—要注意 II レベル

① C ₂ H ₂ ≥ 0.5 ppm
② C ₂ H ₄ ≥ 10 ppm かつ TCG ≥ 500 ppm のとき
注記 ①, ②のどちらか一方でも該当すれば要注意 II レベルとする

表17—異常レベル

① C ₂ H ₂ ≥ 5 ppm
② C ₂ H ₄ ≥ 100 ppm かつ TCG ≥ 700 ppm
③ C ₂ H ₄ ≥ 100 ppm かつ TCG増加量 ≥ 70 ppm/月
注記 ①, ②, ③のどれか一つでもあてはまれば異常レベルとする

- b) **絶縁油の劣化判定** 変圧器における絶縁油は鉄心、巻線等充電部分の絶縁を保ち、鉄心、巻線に生じる損失熱を対流によって冷却装置まで導いて冷却を行う重要な役割を担うが、使用中に次第に劣化し、絶縁耐力、冷却能力が低下する。絶縁油は一般に変圧器タンク下部に取り付けられた排油弁から採取して試験する。黒化してカーボンが浮遊していれば内部事故が発生しているおそれがある。

絶縁油の劣化判定には、酸価、抵抗率、界面張力、絶縁耐力、 $\tan\delta$ 、引火点の測定、コロナ試験等があり、それぞれの判定基準値によって判定される。詳細は6.3を参照する。

8.7 内部点検

8.7.1 概要

外部診断を行って故障箇所が判然とし、工場へ返送と決定すれば別であるが、できれば内部点検を行う。小、中形変圧器の場合で一般に中身が容易につり上げられる構造になっている場合は、つり上げて細部にわたり点検を行う。しかし、大形変圧器で現地設備では中身つり上げができない場合は、絶縁油を必要なだけ抜いて、マンホールから内部に入り点検を行う。

点検はできるだけ一日で終わるように前もって十分準備し、中身を空気中にさらす時間を短くする。ま

た必要に応じて乾燥空気を吹き流して吸湿を最小限とする。二日にわたるような場合は、夜間は油中に戻し吸湿を避けるように注意する。

8.7.2 中身点検

巻線の点検では、巻線絶縁物の損傷、変形、き裂に特に注意して点検する。そのほか、巻線押え、ボルト等の締付部分に緩みがないかを点検する。

鉄心の点検では、発せい（錆）、短絡の痕跡、変形に特に注意し、鉄心締付けボルトの絶縁又は接地が完全であるかを点検する。

無電圧タップ切換器、口出線の事故は、外部からの確認では巻線の事故と区別がむずかしいが、つり上げ点検では比較的容易に事故箇所の発見ができる。タップ切換器の故障は異常電圧の侵入によることもあるが、絶縁板及び絶縁棒の材質不良に基づくこともある。絶縁物の変色炭化の跡を調べると共に、積層板は材料内部で絶縁破壊を起こしている場合があるため、絶縁抵抗を測って検出するのがよい。

絶縁破壊、断線を生じている場合は、一般に絶縁油の汚損、臭気、破壊箇所の炭化、又は銅粉、焼損絶縁物の飛散状態から故障箇所を判定できる。

口出線の断線、接触不良、鉄心の不良、接地の不良、締付けの不良は、中身点検によっておおむね発見できる。

8.7.3 中身分解点検

中身点検では、巻線内部、鉄心内部の点検ができない。特に巻線の事故の場合は、外面的に健全とみられる部分も瞬間的な過熱を受けていることもあり、また外面的事故の認められる場合も二次の事故を起こしている場合が多いので、故障状態を完全に確認するには、やはり分解点検が必要であり、事故の原因究明もそのときに行われる。しかし、分解点検を現地で行うことは設備の点で難しく、一般に工場へ送付しなければならない。

8.8 中身修理

8.8.1 一般

事故又は故障が発生したときの対策は、どこでどのようにして修理し、いつまでに改修、復旧するかということである。なお、責任、経費及び輸送の問題があるが、技術的には現地修理か、工場修理かの処置を決めることが先決で、これは故障状況と修理内容によって定まる。

現地修理を行いうる場合は、附属品附属の故障、油漏れ、外部構造的な故障及び軽微な内部故障であつて、絶縁破壊等の重故障は一般に工場修理となる。巻線等主要部分の修理は乾燥等の完全な設備を必要とするので、新製部品を送って現地で行うよりも工場修理が好ましい。工場修理となった場合は、改修部分と共に改修後の試験に必要な部品を工場へ返送する。

変圧器の事故が変圧器自体の不良によるものではなく、保護装置の不備、保守の不完全、避けられない異常電圧等によるものであることが明らかな場合は、変圧器は元のとおり修理復元すればよいが、これと同時に事故原因に対する対策を行って、同じような事故を再発させないように注意しなければならない。

8.8.2 巻線の修理

重大な変圧器の事故は、巻線自体の絶縁破壊であり、巻線は相当の焼損を起こし、コイルが変形してい

ることが多い。絶縁油は多かれ少なかれ汚損して使用に耐えないため、新油と取り換えるか完全にろ過再生して使用しなければならない。焼損による銅粉炭化物がその部分だけでなく絶縁油の循環によって飛散移動しがちであるため、中身、タンク、放熱器を十分点検して清掃しなければならない。焼損した巻線部分は絶縁物と共に新製して取り換えることになるが、予備コイルがあるときにはこれを使用してもよい。

どの部分まで新調するかは解体して入念な点検の結果決定されるが、巻線の事故は二次的内部短絡を起こしていることが多いため、外面的に健全とみられる部分も瞬間的な過熱を受けていることもあり、点検には細心の注意が必要である。

巻線修理は、中身組立後の乾燥を要する。完成後の耐電圧試験は、巻線絶縁物を全部新製品と取り換えた場合以外は、新品の工場試験と同様の耐電圧試験を課すことは現実的ではなく、その都度事故前の変圧器の履歴を考慮して使用者と修理者の協議によって決められる。使用系統と保護設備の関連において実用上安全を保証できる値、例えば新品の工場試験電圧の75%の値で試験を行う。

8.8.3 鉄心の修理

鉄心の故障は、鉄損の増加、騒音の増加、局部過熱又は部分放電による油の特性変化及び油中ガスの増加等によって事前に予測することが比較的容易であり、内部点検によって局部過熱、部分放電等を判定できる。

8.8.4 口出線、無電圧タップ切換器の修理

口出線又はその支持物の事故の修理に当たっては、構造の不良、支持材の配置を含めてよく検討し対策する必要がある。無電圧タップ切換器の絶縁板及び駆動軸の修理に当たっては、口出線と同様の注意を必要とする。また、接触子の接触不良の場合は接触子を取り換えなければならないが、同時に接触圧力、切換動作を確認しなければならない。

8.9 老朽変圧器の修理

事故が発生した変圧器は、統計上からみても相当製作年度の古い変圧器が多く、設計、工作、材料のいずれも現在からみれば旧式のものであり、また耐用年限に近いものである。これらの変圧器の修理は事故箇所だけにとどまらず、特に絶縁材料が劣化しているため解体時に事故箇所以外の部分も傷める可能性が大きい。

また、事故箇所だけの修理を行ったとしても、変圧器の寿命を更新することはできない。したがって、このような老朽変圧器の事故の修理に当たっては、代替製品を設置することが望ましい。

8.10 変圧器外部の故障・修理

変圧器外部の故障としては、附属品、冷却装置、負荷時タップ切換装置等の故障がある。

附属機器、計器の故障は、保守、点検が完全であれば直ちに発見できるものであり、一般に予備品との交換か工場代替品を求めることになる。温度計類は最近のものはタンクにポケットを設けた間接式になっているので、変圧器の油を抜かなくても簡単に取り換えができる。

送油水冷式変圧器の冷却器には一重管方式と二重管方式がある。一重管方式においては、油圧が水圧よりも高い場合が一般的であり、圧力計又は差圧継電器等が附属している場合は油圧と水圧の関係を確認する必要がある。他方、二重管方式において、管間に漏油、漏水の検知器が附属されるのが一般的であるため、この検知器について点検する必要がある。水冷管のスケール付着による冷却能力低下が認められたな

らば製造業者の指示どおりの分解清掃を実施する。

無電圧タップ切換器のタップ変更はまれに行うものであり、操作後における接触の良否は重要であるため、製造業者の取扱い指針によって確認する必要がある。負荷時タップ切換装置は、操作異常例えば動作渋滞等があれば継電器が働くため、直ちに点検し原因をつきとめなければならない。切換開閉器室の分解点検は、製造業者の基準に従う。

タンク、附属品、冷却装置、負荷時タップ切換装置等に対する保守・点検については、**箇条6**を参照する。

DRAFT

参考文献

電気設備の技術基準の解釈

JEC 186:1972 負荷時タップ切換装置（廃止）

JESC E7002:2021 電気機械器具の熱的強度の確認方法

電気協同研究第30巻第6号 大容量変圧器の事故防止対策

電気協同研究第54巻第5号 ガス絶縁変圧器の保守管理

電気協同研究第65巻第1号 電力用変圧器改修ガイドライン

ASTM D971 Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method

JEM-TR 155 : 20xx

変圧器の保守・点検指針 解説

この解説は、本体に記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、技術資料の一部ではない。

1 制定の趣旨

この技術資料が制定された1987年以前、変圧器の保守点検事項については各製造業者が独自の要領を提示していたが、電気機器製造業者が一般的に推奨できる保守・点検の指針として、1965年（昭和40年）に（株）オーム社から“変圧器保守・点検の実際”が出版された。その後、出版から16年を経過したところで、それまでの変圧器の変遷を考慮すると同時に、保守・点検技術の進歩を加味して指針全体の見直しが必要となった。このため、変圧器技術専門委員会において上述の資料を再編集し、変圧器の保守・点検に携わる実務者のため、変圧器の仕様及び構造の理解を促進し、適切な保守・点検を実施する上での指針として活用されることを期待して、1987年（昭和62年）4月7日に**JEM-TR 155**として制定された。

2 制定の経緯（今回の改正までの経緯）

今回の改正までの経緯は、次のとおりである。

- a) 1987年に**JEM-TR 155**として制定された。
- b) 今回の改正では、制定からかなりの時間の経過があったため、引用規格・参考文献の内容確認及び保守・点検技術の最近の進歩を加味して、内容を見直した。

今回、変圧器技術専門委員会において、原案を作成した。

3 今回の改正の趣旨

1987年にこの技術資料が制定されてから30年以上が経過した。この間、変圧器の保守・点検に関する技術は着々と進歩・改良されている。また、多くの機器は設置後30年以上経過していることで、補修又は更新が必要な時期がきており、高経年化変圧器の利用の需要が増々高まっていることから、保全技術の高度化が進んでいる。こうした1987年版当時との変圧器を取り巻く環境変化を考慮し、この適用指針を改正することとした。

4 審議中に特に問題となった事項

近年、生分解性絶縁油も製品に適用され始めているが、各製造業者の中で適用状況に差異があるため、時期尚早として技術資料への記載は見送った。

5 主な改正点

a) JEM-TR 155:1987の表4.6 点検回数 (6.4.11)

真空バルブ方式の点検回数は、現状ではメーカーによって推奨値にバラつきがあり統一表現が困難なため、具体的な数値を記載したJEM-TR 155:1987の表4.6は削除し、「製造業者の取扱説明書による。」とした。

6 構成要素

6.1 現地据付時の保守・点検 (箇条4)

6.1.1 工場から現地に到着したときの点検 (4.2.2)

現地乾燥は現在では実施されていないことから、現地乾燥に関する記述は削除した。

同様に、7.1「変圧器の現地乾燥方法」の項目は全て削除とした。

6.1.2 据付時の電気試験 (4.2.4)

現地で主に行われている変圧比試験の内容を追加した。

近年、表2.1の耐圧試験ではなく、最終確認として常規対地電圧印加することが採用されているため、その実施条件とチェック項目を記載した。

また、温度上昇試験については、電気技術の技術基準の第20条及びJESC E7002:2021の箇条3によって、JEC-2200:2014に基づき工場で温度上昇試験を実施したものは省略可であることを追記した。

また、温度上昇試験における定格時油温上昇の計算式をIEC 60076-2:2011、JEC-2200:2014に合わせて0.8乗から1.0乗に修正した。

6.2 運転開始後の保守・点検 (箇条5)

6.2.1 吸湿呼吸器 (5.3.8)

近年、桃色以外に変色するシリカゲルも使用されているため、色の記載を削除した。なお、4.3.2 b)にも同様の記載があるため合わせて変更した。

6.3 保守・点検の基準 (箇条6)

6.3.1 絶縁油 (6.3)

JIS C 2320:2010の改正に伴い、“全酸価”の用語を“酸価”に置き換えた。

6.3.2 負荷時タップ切換装置 (6.4)

抵抗式は従来ではアーク接点方式が主流であったが、近年では真空バルブ式が増えてきたため、JEC-2220:2023「負荷時タップ切換装置」の表現に合わせて、次の記載に見直した。

- ・真空バルブ内において電流を開閉してタップを切替える負荷時タップ切換器を「真空バルブ式負荷時

タップ切換」(真空バルブ式)

・真空バルブを使用せずに、絶縁油中において電流を開閉してタップを切替える負荷時タップ切換器を「非真空バルブ式負荷時タップ切換器」(非真空バルブ式)

また、1987年版の**4.3.11**「点検回数の基準」に「一般的な点検回数を目安」として**表4.6**「点検回数」が記載されていたが、メーカーによって差異が大きいことと、上位規格である**JEC-2220:2023**「負荷時タップ切換装置」に具体的な数値が記載されていないことから、1987年版の**表4.6**及び本文内の関連する文言を削除した。

6.3.3 油劣化防止装置 (6.6)

窒素封入式のなかで、窒素密封式は残っているが、他の方式は新しく作られていない旨を追記した。また、窒素封入式の脱気浄油後の絶縁油の特性として110~275 kVの管理推奨値の例を**表7**に追加し、各特性値の記載を見直した。**表7**は、電気協同研究第54巻第5号(その1)「油入変圧器の保守管理」P187 第1-2-4表による。

6.3.4 ブッシングの種類 (6.7.1)

使用実績の増加に伴い、**d)**に「ポリマーブッシング」の項目及び**図47**に構造例を追加した。

また、**6.7.2**「日常点検」にてポリマーブッシングの汚損に対する点検・保守方法を追記した。

6.3.5 温度継電器 (6.10.8)

これまでは、警報接点として水銀スイッチ式で明記されていたが、現在最も一般的なマイクロスイッチの記載に修正し(水銀スイッチの記載をマイクロスイッチの記載に変更)、**図75**もマイクロスイッチ式に変更した。なお、水銀スイッチ式に関連した文言は削除した。

6.3.6 吸湿呼吸器 (6.12)

近年、保守の観点から使用実績が増加したため、”オイルレスブリーザ”、”環境調和型ブリーザ”、”メンテナンスフリーブリーザ”の文言を追記した。

また、シリカゲルは近年コバルトフリーが求められているため「塩化コバルトによる青色に着色されており」の記載を削除し、吸湿後の変色についても桃色以外に各色あるため、具体的な色の記載を削除した。

6.3.7 タンク及び継ぎ手 (6.13)

接合面に使用されるガスケットの種類に、近年増加しているフッ素ゴムを考慮し、耐熱性合成ゴムの文言を追記した。

また、**6.13.1**で鉛、アスベスト等の特殊ガスケットは現在では使用されていないため記載を削除した。なお、接合面に使用されるガスケットの寸法はガスケット面の構造によって異なるため、推奨寸法を削除し、交換の際には製造業者に問い合わせる主旨の記載に修正の上、「ガスケットの継ぎ方」の項目は削除した。

6.3.8 塗料の種類 (6.14.2)

ビニール系は現在では殆ど使用されていないことから削除した。エポキシ系は焼付けがなく、一般的に

常温であるため常用・焼付けの分類を削除し統一した。また、ポリウレタン塗料は防食塗料ガイドブック表5.1に合わせて120℃とした。これらの変更に合わせて表10を修正した。

6.4 不燃性油（PCB油）変圧器の保守（7.1）

不燃性油（PCB油）は、毒性が明らかとなり現在は使用が禁止され、高濃度PCB入りの変圧器は地域によって異なるがすでに処分期間が終了しており、まだ処分をしていない機器に関しては、環境省のホームページを確認し、早急に対応する必要がある旨を記載した。また、不燃性油(PCB油)の特徴の記載だけを残し、保守・管理に関する項目は削除した。

6.5 故障及び対策（箇条8）

6.5.1 電氣的試験（8.6.2）

現在は安定した測定装置が多く流通してことから各測定における「概して誤差が大きいこと」の記載は削除した。また、励磁電流の測定において、励磁電流が低い（低騒音）変圧器の場合、低い励磁率では判別できないことがあるため、その旨の記載を追加した。

また、1987年版の6.6.1 f)の誘電正接試験（ $\tan\delta$ ）は保守の内容であり、内部事故ではない上、箇条6にも記載があるため削除した。

6.5.2 絶縁油の調査（8.6.3）

油中ガス分析による自己診断内容の出典を「電気協同研究第65巻第1号（電力用変圧器改修ガイドライン）」に修正し、合わせて表15、表16、表17を追加し、異常有無の程度を示す区分を見直した。