

最近の富士変圧器用付属装置

小川 芳雄* 鎌形 誠一郎*
Yoshio Ogawa Seichiro Kamagata

高萩 隆司* 小林 茂*
Takashi Takahagi Shigeru Kobayashi

Recent Accessories of Fuji Transformers

Synopsis

The transformer is composed of main parts, which are windings and core, etc, and many accessories to hold main parts for long lasting works with set up their functions and faculties.

These accessories connect main parts of the transformer to the circumference. They must be properly operated by watchers of the substation, and they are often observed by the public.

In this paper, constructions and performances of recent accessories of large or medium size Fuji transformers are explained in the main.

I. ま え が き

現在の交流変圧器の原理はよく知られているように電磁誘導現象の応用である。したがって主要な構造部は複数に分けられた巻線群と、主磁束の磁路を形成する鉄心である。

さらに電氣的絶縁のために、絶縁油や絶縁紙などが加わる。次いで中味や油の温度を規定値以下に保ち、中味絶縁物の能力を維持させるための冷却装置および絶縁油劣化防止装置、さらに内部事故に備えるための安全装置、監視装置が加わる。このように原理的な電磁誘導に一見無関係に思える諸々の構造物が付加され、完成された変圧器としては、今日見られるような多種類の付属装置を装備したものとして具体化されているわけである。付属装置はいわば原理的作動部をその設定機能および能力いっばいに永続して作動させるための環境づくりのためのものであり、原理的作動部と外部との交渉の窓口であり、原理的作動部の監視制御系である。

変圧器の付属装置とは具体的に何を指しているか、ということの明確な定義は見当らない。広義に解すれば、原理的電磁誘導によりいわゆる変圧に従事する部分の他はすべて付属装置(品)といえる。また、狭義にはタンクの外部にぎ装される諸々のいわば小間物類あるいは外装品と同義に用いられる場合もある。ここではタンク内にまったく納められるものは含まず、一部または全部がタンク外にあり、しかもタンクから取りはずしできるものと解釈することにする。⁽¹⁾

本稿では紙面の関係上、各付属装置の種類と取付基準、冷却装置関係の詳細、油劣化防止方式の詳細について記述する。

* 千葉工場

II. 変圧器の諸々の付属装置の概説

本項では富士大中形変圧器の付属装置にはどのようなものがあり、その中で標準として取り付くものは何か、また取り付ける付属装置としては何を指定すべきか、という点を概説する。なお負荷時タップ切換装置について^{(2), (3)}は別途各種の報告が本誌上になされているので、本稿には省略する。

1) 基礎ソケット

標準としてボルト、ナット類とともに取り付ける。その他の方式は注文により採用する。

2) 舟底形ベース

標準として取り付ける。他の形式のベースは注文により採用する。

3) 車輪

標準として取り付けない。注文があれば取り付けるが、その場合はフランジ車輪と平車輪の別、レールゲージ、移動方向を明示することが必要である。車輪をとりつける場合も90°方向変換は行わないことが標準である。90°方向変換のものは注文により取り付ける。

4) 本体用はしご

標準として取り付けない。ただし大形変圧器および大形のFTタンクには目盛板などの日常点検のためのはしごを設ける。

5) 昇降禁止板

標準として取り付けない。必要の場合は注文により取り付ける。

6) 主銘板

標準として取り付ける。取付は変圧器の高圧側を標準とするが、その他の場合および特殊書式仕様は注文による。

7) 社 名 表 示 板

標準として取り付ける。取付は主銘板と同じ側を標準とする。

8) パンク番号板

注文により取り付ける。取付は主銘板と同じ側を標準とする。表示文字、字体の指定が必要である。

9) 放 圧 管

標準として取り付ける。放圧管用のはしごは取り付けないことが標準である。導油管あるいは放圧装置の動作を検出する接点は注文により取り付ける。

10) 放 熱 器

標準として取り付ける。冷却方式は注文によって選定する。放熱器を本体に取り付けるか、別置かは冷却方式に関連して決まる。水冷の場合は水質、水温のほか、工事範囲などについての留意が必要である（本稿のⅢ参照）。

11) 温 度 計

標準として、最高指示なし棒状アルコール温度計と、最高指示なし接点付普通形ダイヤル温度計を取り付ける。標準と異なったものを取り付ける場合、すなわち棒状温度計をアルコールでなしに水銀にするとか、ダイヤル温度計を最高指示付や油入形にするとか、あるいは測温抵抗を取り付けるなどは注文による。測温抵抗を用いる場合はその外部接続導線の抵抗値に特に留意が必要である。

12) 油 流 指 示 器

冷却方式が送油式のものでは接点なし油流指示器を標準として取り付ける。接点付のものは注文による。なおこれは油流量計ではない（本稿Ⅲの 2 の 5）参照）。

13) 流水継電器、水流量計

冷却方式が水冷の場合、いずれかが取り付くが、それらの選定は取付個所とともに注文による（本稿Ⅲの 3 参照）。

14) コンサベータ

標準として取り付ける。油劣化防止方式の選定については本稿Ⅳ参照。

15) 窒素封入用具

窒素ポンベ、窒素ポンベ運搬車（減圧弁ホースとも）、オルザートガス分析器などを指すが、これらは油劣化防止方式に関連し注文によって供給される（本稿Ⅳ参照）。

16) 酸素吸収装置

油劣化防止方式に関連するものであるが標準としては取り付けない（本稿Ⅳ参照）。

17) 吸 湿 呼 吸 器

油劣化防止方式に関連するものであるが、大気を呼吸する方式では標準として取り付ける。

18) ブッフホルツ継電器

密封式およびポンベ式の窒素封入装置付の変圧器のほかは本体用ブッフホルツ継電器を標準として取り付ける。本体と仕切られた油入エレファント室がある場合は標準としてエレファント室用のブッフホルツ継電器をとりつける。本体と仕切られた負荷時タップ切換器室で油量が多く、別のコンサベータを有するものには標準としてそれ専用のブッフホルツ継電器をとりつける。衝撃ガス圧継電器または衝撃油圧継電器は注文によって取り付ける。

19) 油 面 計

棒形とダイヤル形とがあり、容量によりいずれかが標準として取り付けられる。ダイヤル形の接点目盛位置は標準として決められている。

20) 補助回路端子箱

補助回路端子箱までの配線、配管を含め、標準として取り付ける。配線は電線の寸法や色などに特に指定があるか否か留意が必要である。

21) ブ ッ シ ン グ

変圧器からの口出方式はブッシングか、エレファント形か、ブスダクト形かを先づ指定することが必要である。ブッシングは線路および中性点の油中、気中の絶縁階級、耐塩害特性、注水洗浄特性、磁器の色、ブッシング変流器の有無、数、特性の指定が必要である。標準のものは普通形ブッシングで、耐塩害ではなく、注水洗浄はせず、色は白色である。線路端ブッシングについては付属間隙をつけないことが標準である。

22) 主 回 路 端 子

線路端子には（中性点端子があればそれにも）標準として圧縮端子を取り付ける。締付端子の場合は注文による。穴明寸法および外部接続導体の種類や寸法の指定が必要である。

23) 接 地 端 子

標準として本体、FTタンク、ポンベ式窒素封入装置、活線浄油装置、避雷器にそれぞれ締付形のものを取り付ける。圧縮形は注文による。いずれも接地線の種類と寸法の指定が必要である。中性点と避雷器間の接続導線は標準として取り付ける。

24) 負荷時タップ切換操作器

負荷時タップ切換方式の場合、標準として取り付ける。タップ位置表示方式、操作電源、について、指定が必要である。

25) 活 線 浄 油 装 置

負荷時タップ切換装置付の場合は標準として取り付ける。

26) 無電圧タップ切換器

この切換方式の場合はもちろん取り付けるが、手動、電動の別、操作する位置、電動の場合は電源を指定することが必要である。

27) 絶 縁 油

標準として必要油量は全量供給する。この場合の準拠規格は JIS C 2320 である。特に指定ある場合は製造業者、準拠規格、供給油量のいずれもそれにより供給される。

28) そ の 他

絶縁劣化検出装置、熱動継電器、負荷時タップ切換器吊り上げ装置は標準としては取付けない。いずれも注文により取り付けられるものである。

III. 冷 却 装 置

変圧器の冷却は内部冷却系と外部冷却系とに大別できる。ここでは一応、巻線や鉄心などを高温側とし絶縁油などの冷却媒体を低温側とする冷却を「内部冷却系」と称し、冷却媒体を高温側とし大気あるいは水を低温側とする冷却を「外部冷却系」と称することにする。放熱器、冷却扇は外部冷却系に関する付属装置であり、送油ポンプ、油流指示器、油面計、温度計は主として外部冷却系に関する付属装置であるが、内部冷却系とも関連を有する。一般に変圧器の発生損失は出力の 0.75 乗に略比例して増加するといわれる。一方変圧器の外箱の外周包絡周長は出力の 0.25 乗程度でしか増加しない。したがって、変圧器容量の増大の傾向が著しい昨今では、熱損失の処理に関してはその発生を減少させる努力とともに外部冷却系の能力増大がますます関心事となってきた。

現行の冷却方式を分類すれば第 1 表のようになる。本稿では通常の油入式および送油式各冷却方式に用いる付属装置について述べる。

第 1 表 現 行 の 冷 却 方 式
Table 1. Recent method for cooling

油入式	油自然循環式	油入自冷式
		油入風冷式
		油入水冷式
	油強制循環式	送油自冷式
		送油風冷式
		送油水冷式
乾 式	開 放 式	自 冷 式
		風 冷 式
	密 封 式	自 冷 式
		風 冷 式

1. 自 冷 式 放 熱 器

自冷式放熱器は一般に油入自冷式 (ONAN) 変圧器に使用される以外に、これに冷却扇を取り付けて油入風冷式 (ONAF) として、送油ポンプと組合せた送油自冷 (OFAN) あるいは送油風冷 (OFAF) として使用される。

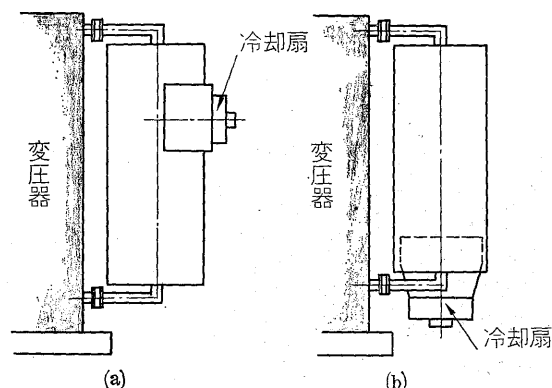
この放熱器は本来、油の自然対流、空気の対流およびふく射作用により変圧器の鉄心や巻線内に発生した熱を

外気に放散するものである。このため冷媒の密度差によって生ずる対流作用により放熱量は大きく左右される。したがって熱源と放熱器の入口出口の相対位置や、放熱器相互の間隔、放熱管長さ、油の許容温度上昇値などの諸条件が設計上のポイントとなる。

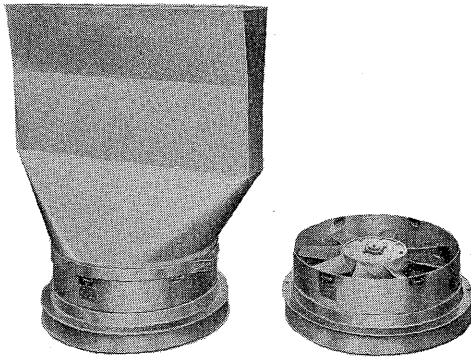
パイプ形自冷式放熱器の基本構造は、放熱管を数十本配列して上下をヘッダに溶接したもので、ヘッダから接続管により放熱器弁を介して変圧器タンクに取り付けるものである。放熱管材質としては機械的強度および経済性の観点より鋼管が使用されている。

当社のパイプ形自冷放熱器の標準系列としては、単一ヘッダ形と分割ヘッダ形とがある。放熱器形式は冷却管本数を n 、冷却管長さを $A(\text{dm})$ とすれば n/A で表わされる。単一ヘッダ形には 80/12~80/30, 75/12~75/21, 65/12~65/21 の 3 シリーズがある。75 および 65 本形は全装可搬形変圧器において輸送限界上支障ある場合に限り使用される。一方分割ヘッダ形は 88/30~88/47 までであり容量の大きい自冷式変圧器に使用される。いずれの形も耐真空形であり放熱器弁を介してタンクに取り付けられるので、本体油を抜かずに放熱器の着脱作業が可能である。自冷式放熱器はこのように構造が簡単であり保守上の面倒もなく、信頼度、耐久度は高くほぼ 35 MVA 以下の油入変圧器に最も多く採用されている。

油入風冷式は自冷式放熱器に冷却扇を取り付け、空気を強制的に放熱管に吹き付けて空気側の熱伝達率を向上し冷却効率を上げるものである。油側の熱伝達率を α_i 、空気側のそれを α_0 とすれば、 $\alpha_i \gg \alpha_0$ であるので、空気の強制対流により α_0 を改善することは自冷式放熱器の冷却効果の向上に非常に役立つ。冷却扇は空気の吹き付け方向が自然対流にさからわないよう取り付けられ、その取付状態は第 1 図 (a), (b) が現在の標準方式となっている。(a) 方式ではたとえば 60% において電動機出力 30W 程度のものを放熱器 1 セットに 1~2 台取り付けることにより、放熱器の冷却効果を最高 200% 位に高めることができる。一方 (b) の方式では 60% で電動機出力 230W 程度のものを使用することにより 150~200% の冷却効



第 1 図 冷 却 扇 取 付 図
Fig. 1. Assembly of cooling fan

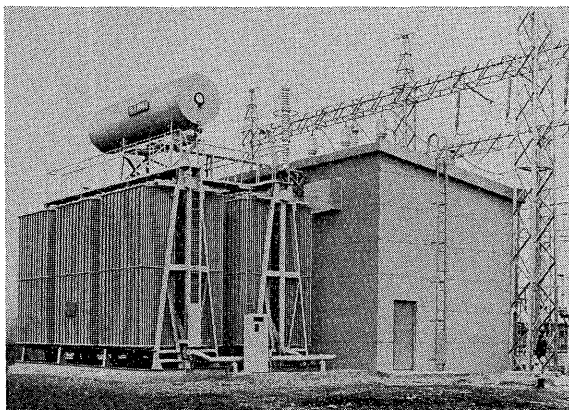


第2図 冷却扇外形図
Fig. 2. Outer view of cooling fan

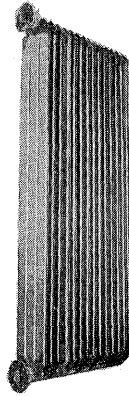
果が得られ、一般に変圧器容量としては 20~30% 位の容量増加が可能となる。第2図は (b) 方式の冷却扇の写真である。

油入風冷方式においては変圧器の経済運転の観点より低負荷時には自冷運転とし、負荷の増加による油の温度上昇に応じて温度継電器の併用により冷却扇の始動を行なうことも可能である。また必要に応じて冷却扇を数群に分割して、さらに運転効率を高めるなどの方策がとられる。油入風冷式は既設変圧器の容量増加の場合、あるいは油入自冷/油入風冷の二重定格などの仕様の時に採用される。

送油自冷式は主に変圧器が屋内設置の場合、超低騒音仕様の大容量変圧器、送油式で自冷容量を大きくしたい場合などに別置形冷却器として使用されるもので、第3図はその一例である。すなわち送油ポンプにより油を強制対流させ、鉄心や巻線内の油速を上げ、油への熱伝達率の向上を計るとともに、変圧器と別置冷却器間の導油管の管路損失を補償し、油を強制循環させるものである。この場合は空気側は自然冷却であるので放熱器自体の冷却効率の向上はあまり期待できない。したがって送油風冷式で自冷容量を大きくする場合は、自冷式放熱器に送油ポンプ、冷却扇を組合せて送油風冷式とすることもある。



第3図 別置形送油自冷式放熱器
Fig. 3. Separate type OFAN radiator



第4図 パネル放熱器外形図
Fig. 4. Outer view of panel type radiator

自冷式放熱器についてはシーム溶接式により製作される通称パネルラジエータがあり、外觀もよく油入風冷式とする場合には通風状態も良好であるので、当社ではこの形式のものも標準系列として採用している。第4図はパネルラジエータの単体写真である。

2. 送油風冷式放熱器

一般に大容量変圧器の冷却方式は、送油風冷式である。これは油入自冷式に比べて重量軽減、据付面積の減少などが可能になるからである。送油風冷式放熱器は冷却媒体として空気を利用し、これを冷却扇により強制的に放熱管に吹きつけ、その中に流れている変圧器油を冷却する熱交換器である。放熱管としては普通フィン付管が使用される。当社ではフィン付管としてUフィン管とハイフィン管の2種類を採用している。送油風冷式放熱器の空気入口、出口の温度差：油入口、出口の温度差：および空気と油の平均温度差を求めるには下式による。

空気および油入口、出口温度差

$$\delta_0 \text{ または } \delta_e = \frac{Q}{G \times C_p} [\text{deg}] \dots \dots \dots (1)$$

δ_0 または δ_e : 油または空気の入口、出口の温度差
[deg]

Q : 熱流量 [kcal/h]

G : 油または空気の流量 [kg/h]

C_p : 油または空気の比熱 [kcal/kg·deg]

空気と油の平均温度差を求めるには、種々計算式があるが簡易式として下式がある。

$$\delta = \frac{Q}{K \cdot F} [\text{deg}] \dots \dots \dots (2)$$

δ : 空気と油の平均温度差 [deg]

Q : 熱流量 [kcal/h]

K : 熱通過率 [kcal/m²·h·deg]

F : 表面積 [m²]

熱通過率 K は下式により求められる。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}} [\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}] \dots \dots \dots (3)$$

α : 空気側の熱伝達率 [kcal/m²·h·deg]

α_1 : 油側の熱伝達率 [kcal/m²·h·deg]

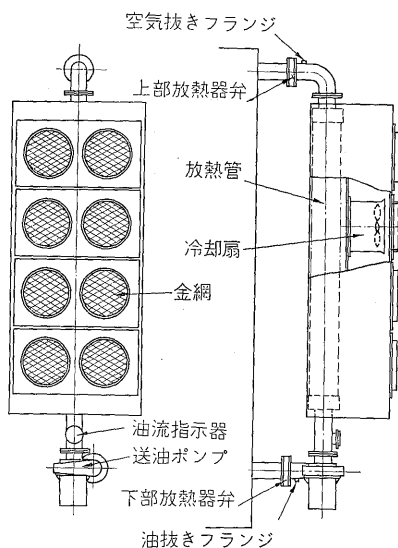
λ : 管の熱伝導率 [kcal/m・h・deg]

d : 管の厚さ [m]

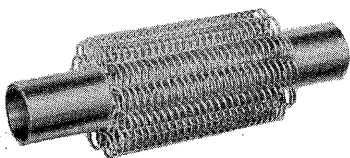
式(1)よりわかるように、空気および油の温度差は、空気および油の流量により左右される。しかし単純に流量を増して温度差を小さくすることは、補機損および騒音の増加をまねき得策ではない。したがって放熱器の特性を良くするには、式(2)の熱通過率 K を改良するのがよい。熱通過率 K を向上させるには、式(3)の α 、 α_1 の熱伝達率を上げればよい。このため空気側にフィンを取り付けたり、油側にうず流増加器を入れたりする手法がとられる。

1) UF 形放熱器

UF形放熱器の構造を第5図に示す。UF形放熱器の放熱管には、Uフィン管を使用している。Uフィン管は千鳥形に配置され、上下のヘッダに直接溶接されている。さらにUフィン管の外部は鋼製の箱でおおひ、この箱に冷却扇を取り付けている。放熱器の上下の油出入口には放熱器弁、空気抜きフランジおよび油抜きフランジを設け、変圧器の油を抜かずに放熱器を変圧器本体より取外せるようにしてある。送油ポンプは保守を容易にするため下部に置き、油は放熱器を上から下に回って流れ、強制的に循環する。この油流状態およびポンプの運転状態の監視用として、見やすい位置に油流指示器を取り付けている。Uフィン管は第6図に示すように、鋼管の周囲に鋼線または銅線でできたコイル状のフィンを、数個からみ合わせて製作したものである。このフィンを鋼管と



第5図 UF 形放熱器
Fig. 5. UF type radiator

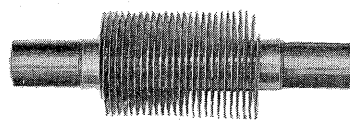


第6図 Uフィン放熱管
Fig. 6. U fin tube

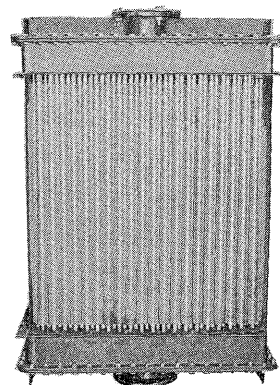
もに溶融はんだ槽に浸して一体とし、相互を熱的および機械的に密着させると同時に、防錆効果をも兼ねさせている。また鋼管の内部にもうず流増加器として、鋼線のコイルをそう入している。このように鋼管に、フィンを固着することにより伝熱面積を増大させ、さらにこれによって伝熱面を取巻く空気の層流境界層（この層は動きの少ない空気層であり、しかもこの境界層内では層流状態をなしているため熱交換をはなはだしく阻害する）をかき乱して乱流境界層にし、空気側伝熱特性の改良を計っている。また前述の空気側と同様の理由により、鋼管内にそう入した渦流増加器により、変圧器油側の熱伝達率を改善し、放熱管の熱通過率をさらに増大させている。Uフィン放熱器は空気抵抗が小さいので、冷却扇の所要入力が少なくてすむ。このため冷却扇は小形にすることができ、送油風冷式変圧器の問題点である騒音を、低くすることができる。普通冷却扇は単位放熱器に、その大きさにより出力 80 W 風量 42 m³/min の冷却扇を6ないし8個取り付けるのを標準としている。なお単位放熱器の数が多くなり、変圧器の周辺に配置できない場合は、出力 630 W、風量 150~200 m³/min という大形冷却扇を、2ないし4個取付単位放熱器の放熱量を増大させている。送油ポンプには出力2~3 kW、循環油量 1,500~2,000 l/min の範囲で各種の形式のものがあ

2) AF 形放熱器

AF形放熱器に使用する放熱管の構造を、第7図に示す。放熱管としては、ハイフィン管を採用している。このハイフィン管は鋼管と、多数の先細円板形フィンが一体にできているもので伝熱性、耐久性にすぐれている。またUフィン管と同様、空気側の表面積が大きいので、一定の熱交換に必要な管の本数を減らすことができ、小形軽量にすることができる。鋼管の材質には、溶接組立



第7図
ハイフィン放熱管
Fig. 7. High fin tube

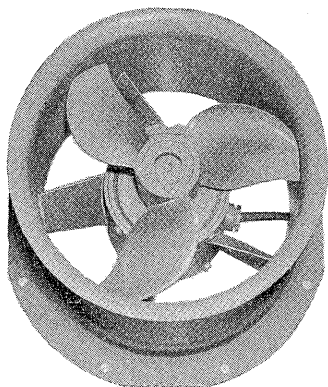


第8図 AF形放熱器
Fig. 8. AF type radiator

作業を容易にするため、ボイラ用鋼管 (JIS STB 35) を使用し、フィン材質には耐食アルミニウム (JIS A2 T2) などを使用している。放熱管を組立てた状態を第 8 図に示す。放熱管は正三角形(千鳥)に配置されている。ヘッダその他の構造は U F 形放熱器のそれと同じであるが、フィン部にアルミニウムを使用しているため、鋼管とフィンの端末部の単独腐食および電気腐食には充分の対策を行なっている。特にフィン部表面は化成処理により、強じんな酸化皮膜を作り、防食効果を高めている。A F 形放熱器の空気抵抗は、そのフィンの形状のため U F 形放熱器に比べてさらに小さいので、風速が大となり熱伝達率が高くとれる。したがって同一交換熱量においては空気の入口、出口の温度差が少なくなる特長がある。空気抵抗が小さいことから、A F 形放熱器の冷却扇には出力 630 W、風量 150~200 l/min の大形の冷却扇を、放熱量に応じ 1~3 個取り付けのを標準としている。送油ポンプは U F 形放熱器と同様、出力 2~3 kW、循環油量 1,500~2,000 l/min の油ポンプを使用する。なおフィンの防食性能をさらに高める必要のあるときはフィン材質としてアルミニウムの代りに銅の採用も可能である。なお油側にうず流増加器としてコイルをそう入することは、U F 形放熱器と同様である。

3) 冷 却 扇

冷却扇の構造を第 9 図に示す。羽根車には適正なひねりを与え、風量を減ずることなく騒音を低下させるよう考慮を払っている。羽根車は三相誘導電動機に直結し、ケーシングに収納した電動機格納形で、静風圧を上昇させ送風するものである。電動機は動的小および静的なバランスをとって製作し、かつケーシングに防振ゴムを介して取り付け、変圧器の振動により軸受寿命が低下するのを防止している。電動機の生命であるコイルの絶縁に対しては、屋外で使用されることを考慮し、密閉防水構造にしてあるので浸水などの心配はない。軸受部分に対しては防じん、防水構造にしさらに潤滑剤には良質のグリースを使用している。第 2 表に標準冷却扇の特性を示す。軸受潤滑剤は現在の技術水準では最高級のアルパニヤ No. 2 グリースを用いており、グリース密封軸受として使用している。この場合の 5% 計算寿命は 3~4 年である。し



第 9 図 冷 却 扇
Fig. 9. Cooling fan

第 2 表 冷 却 扇 の 定 格

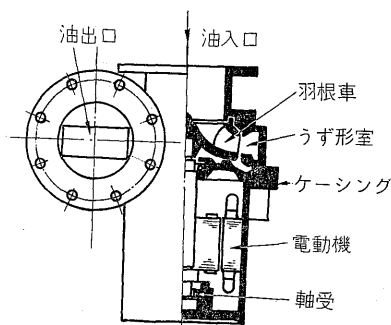
Table 2. Rating of cooling fans

形 式	周波数 (%)	定格電圧 (V)	電動機の 定格出力 (W)	風 量 (m ³ /min)	静 圧 (mm Aq)	標準使用 状態での 入力(W)
SSL 384	50	200	80	42	2.5	120
SSL 456	60	200	80	42	2.5	120
SSL 856	50	200	800	200	10	1,000
SSL 858	60	200	630	80	14.5	850

たがって 3~4 年を過ぎれば全部軸受を取替えるということではなく、よく点検の上たとえば電源停止後のファンの停止時間が特に短いもの、あるいは異常音の発生するものなど、異常と見られるものを交換するだけでよい。

4) 送 油 ポンプ

送油ポンプの構造の一例を第 10 図に示す。このうず巻ポンプはケーシング内に設けられた多数のわん曲した羽根を有する羽根車を、三相誘導電動機によって回転し、遠心作用により変圧器油にエネルギーを与えるものである。過大な運動エネルギーのままでは、その利用度が低いことから、羽根車を出たあとに末広通路を設け、主流の速度を減じて圧力を増加させるよう考慮してある。変圧器油は、羽根車の回転によりその中心から吸込まれ、運動エネルギーと圧力エネルギーを与えられてその外周から流出し、その外側に設けられたうず形室を経て送り出される。電動機は油に浸っているため、この油により電動機の冷却、および軸受の潤滑が合せて行なわれ、損失が少なくすむ。このため軸受の給油は不要である。第 3 表に標準ポンプの特性を示す。



第 10 図 送 油 ポンプ の 構 造
Fig. 10. Construction of oil pump

第 3 表 送 油 ポンプ の 定 格

Table 3. Rating of oil pumps

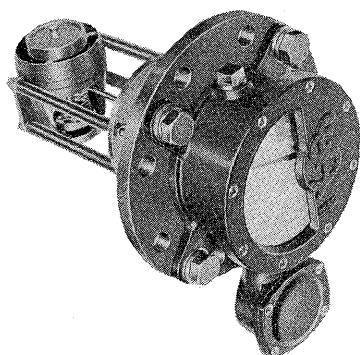
形 式	周波数 (%)	定格電圧 (V)	電動機の 定格出力 (kW)	流 量 (l/min)	揚 程 (m Aq)	標準使用 状態での 入力 (kW)
DWP 20B	50	200	3	1,200	8	3.8
DWP 21B	60	200	2.5	1,200	8	2.75
DWP 19B	50	200	2	1,500	3	1.55
DWP 22B	60	200	2	1,500	3	1.55
DWP 20B /4-50	50	200	3	2,000	4	2.55
DWP 20B /4-60	60	200	3	2,000	4	2.55

軸受の寿命は 20 年以上あり、また潤滑剤の寿命が半永久的であることから、特に保守は必要としない。しかし適当な機会に軸受音響を聞くなどして点検するのがよい。

5) 油 流 指 示 器

油流指示器は送油ポンプの運転、停止および油流状態を監視するためのもので、送油ポンプ近辺に標準として設ける。この油流指示器の構造を第11図に示す。送油管内に設けられるフロートが、油流の動圧で上下に移動し、スプリングにより流量に応じて定位する。このフロート位置は、マグネットカップリングにより指示される。このようにマグネットカップリングを用いているので、軸の貫通部がなく油洩れの心配はまったくない。指針の指示は「Stop」「Flow」となっている。必要に応じ Stop 時閉となる接点付とすることもできる。

送油ポンプ運転時に油流指示器の指針が、Stop-Flow の中間位置でふらつくときは、流量の不足か油流指示器の不良と考えられるので、点検をするのがよい。



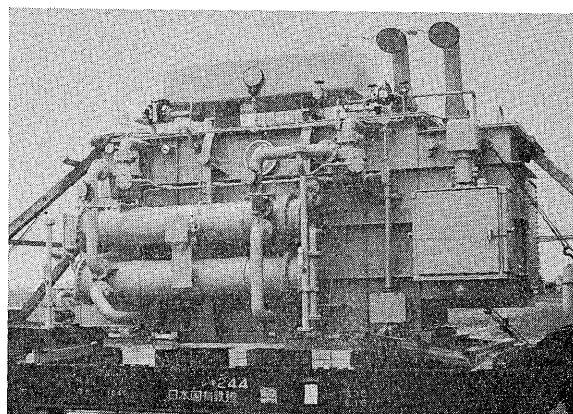
第11図
油 流 指 示 器
Fig. 11.
Oil flow indicator

3. 送油水冷式冷却器

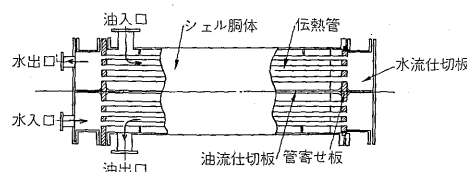
本器は冷却媒体に水を利用して変圧器油を冷却する熱交換器である。高温側流体（油）と低温側流体（水）がともに液体であることがこの形式の冷却器の大きな特徴である。したがって他の冷却器と比較した場合、より大きい熱通過率が得られるので、冷却器としては最もコンパクトになる。このため屋内設置の工業用変圧器や、地下式変電所の変圧器のように、変圧器床面積を極力少なくする要請が強く、かつそのメリットが大きい場合に使用される。そのほか水力発電所のように冷却水の入手が容易な場合にも採用される。第 12 図は本冷却器の採用によりコンパクト化された完全組立輸送中の 7.5 MVA 電気炉用変圧器の写真である。

この冷却器の構造は第 13 図のようにシェル胴体、伝熱管、管寄せ板、水流仕切板および油流仕切板などからなっている。伝熱管内に冷却水を流し、シェル胴体側に油を流す。

油と水との温度差に基づくシェル胴体と伝熱管との間に熱応力の発生を防止するため、当社では管寄せ板の一方はシェル胴体に固着せず、軸方向に遊動しうるスライ



第12図 7.5MVA 電気炉用変圧器の組立輸送図
Fig. 12. Photograph of the assembled transportation type 7.5 MVA furnace transformer



第13図 送油水冷式冷却器断面図
Fig. 13. Section drawing of a OFWF type cooler

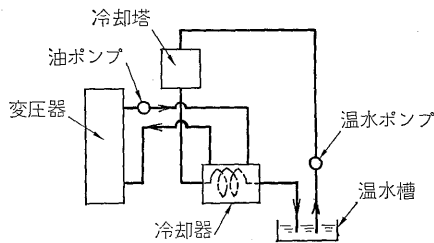
ド方式を標準として採用している。伝熱管材質としては脱酸銅管〔JIS H 3603 (1960) DCuT 1, 2〕、復水器用継目無黄銅管〔JIS H 3632 (1963) BsTF 2~4〕、銅管〔JIS G 3454 (1965) STPG 35 S-C〕などが使用される。その使用区分は淡水系、海水系の別や、使用水質の分析結果により、耐食性を考慮の上決定している。管寄せ板も伝熱管の材質に適合するものを選定し、両者はエキスパンド方式により密着、固定する。

現在当社ではたて形 1 種類と横形大小 2 種類を標準とし、それぞれ変圧器の損失と設置条件により使いわけている。

たて形は水側が 2 往復の 4 パス、油側は 1 パスであり油流仕切板により油流をジグザグ流として冷却効率を向上している。また横形は水側、油側とも 4 パスとして適正流速を得、冷却効果の向上を計っている。

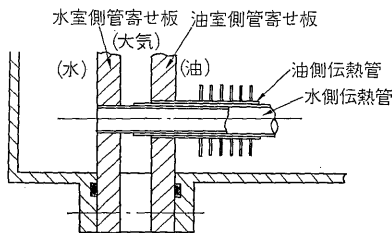
水冷式冷却器の運転上重要なことは、変圧器油側の圧力を冷却水側の圧力より常に高く維持し、万一漏れが生じても絶対に変圧器内へ水の漏入がないようにすることである。当社の送油水冷式冷却器の水配管には保護装置として冷却水入口に放水管を設け、常に水側圧力が油側より低くなるよう配慮してある。しかし冷却器の保守点検は冷却効率の向上、信頼性の確保の見地からきわめて重要であるので少なくとも 0.5~1 年に 1 回の点検ないし清掃を推奨している。

市街地などに設けられる地下式変電所の送油水冷式の変圧器について従来は、地下室に温水槽や冷水槽を設け



第 14 図 単温水槽式循環水冷系統図

Fig. 14. System diagram of circulatory water cooling



第 15 図 水冷二重管式冷却器原理図

Fig. 15. Performance principle of double tube type oil cooler

ビル屋上の冷却塔から冷却水をこの水槽に放出し、この水槽から変圧器の冷却器へ別の送油ポンプにより送り込む冷却水系が採用されていた。しかしながらこのような複雑な冷却水系統では設備費もかさみ、運転保守上面倒ばかりでなく建物の総合的利用度が低い。また水の落下エネルギーも有効に利用されないなど総合的見地からみて最適とはいえない。当社ではこのような問題点を解決し、しかも運転上の信頼性と安全性を損うことのない第14図のような冷却水系を考案し、東京電力・池袋変電所で実用運転に入れている。この水系では冷水槽や冷水ポンプを要しないのみか屋上の冷却塔より冷却された水を冷却器を通して落下させることにより、水の落下エネルギーを有効に利用することができる。さらに第15図のような二重管式冷却器も考案されている。この冷却器を採用することにより無水槽式循環水冷方式が可能となる。ただしこの場合は冷却器内水圧は油側よりかなり高くなるが、万一水漏れの場合でも二重管の間隙から直接大気中へ水が出るのみで変圧器側への浸水は防止できる。当社ではこのような冷却器の採用にも応じられる態勢をすでに整えている。

IV. 油劣化防止装置

変圧器に封入されている絶縁油は気温変化や変圧器負荷変化による油温変化により体積変化をする。油の膨張係数と温度変化範囲からその体積変化は最大約8%となる。この体積変化のための必要油槽空間がコンサベータである。変圧器油がコンサベータ油面で直接大気に接すると劣化が促進されるが、大、中形変圧器では絶縁油の再生や交換は容易ではない。この油の劣化を防止するた

第 4 表 油劣化防止装置の適用区分

Table 4. Application division of oil preservation systems

形式分類	適用区分			備考
	絶縁階級	3 相 器	単 相 器	
A 密 封 形	30号超過 100号以下	2 MVA 超過 10 MVA 以下	2 MVA 超過 6.3 MVA 以下	油入自冷および油入風冷のみとしその他はBを使用する
B OC(三室)形 コンサベータ	100号超過 すべて	10 MVA 以下 10~40 MVA	6.3 MVA 以下 6.3~25 MVA	配置上困難がある場合はCを適用する
C 隔 膜 式 コンサベータ	すべて	40 MVA 超過	25 MVA 超過	配置上および製作上困難がある場合はDを適用する
D ボンベ式窒素 封入装置	すべて	40 MVA 超過	25 MVA 超過	Cの適用が困難な場合のみ適用する
E FT形窒素 封入装置	すべて	すべて	すべて	既納品と形式を合わせる必要のある場合のみ使用する
F 開 放 形	30号以下	2 MVA 以下	2 MVA 以下	基準外としのA, B, Cで代用として採用する場合もある

めに、絶縁油が大気には接触しないように窒素ガスを封入したり、隔膜を用いたりする。この油劣化防止の各方式と適用区分を第4表に示す。

1. 開放形 (1室形)

このコンサベータは吸湿呼吸器を通じて直接大気に開放されているもので、油劣化防止方式としては最も古くから実用されている。日常の保守はきわめて簡単であるので、現在当社では低電圧小容量のものに採用している。

また本コンサベータに吸着剤 (活性アルミナなど) を併用して油の劣化防止効果の向上を計る場合もある。

2. 密 封 形

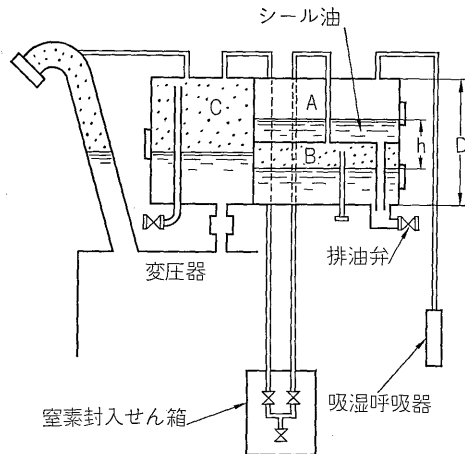
窒素封入ガスを外気から完全にシャ断した缶詰方式のもので、ガス圧調整用の膨張タンクを設けている。当社の密封方式は変圧器平均油温が -20°C ~ 90°C の変化に対してガス圧力は $0 \sim 0.6 \text{ kg/cm}^2$ (ゲージ圧力) の範囲に収まるよう窒素ガス膨張室の容積を決定している。最低圧力を 0 kg/cm^2 として負圧範囲を設けていないのは、万一の漏れの際にも外気の吸入を防止するためである。

密封形は圧力の変動範囲が大きく、急激な油の圧力、温度の変化に対し油中溶解ガスの放出が追従できず一時的に油中溶解ガスが過飽和となり、油中において気泡を形成し、絶縁破壊の危険性があることが明らかにされている⁽⁴⁾。しかしながら保守の簡略さ、油の劣化防止効果大などの特長があるので、従来の実績から実用上問題とならない第4表の範囲において採用している。

また不燃性油使用の場合は油より有害ガスの発生があるので不燃性油入変圧器はこの密封方式が採用される。

3. OC形 (三室形)

当社の三室形コンサベータは通称OC形と呼んでい



第16図 OC形窒素封入装置

Fig. 16. OC type nitrogen gas seal equipment

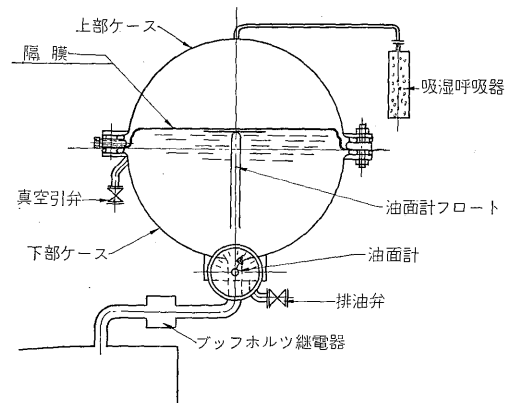
る。その構造を第16図に示す。A室とB室はシール油により連結され、B室とC室は配管により窒素ガスが連通されている。窒素ガスにはシール油の油面差 h に相当する油圧がかかる。 h は最大 D から零まで変化し、 $D=1,250\text{mm}$ とすれば約 $0.11\sim 0\text{ kg/cm}^2$ の圧力変化を行なうことになるが、ガス圧は常に正圧であり空気吸入の心配はまったくない。これは他社の三室形コンサベータと異なる大きな特長である。

このコンサベータは構造が簡単で可動部分もないので運転保守上の面倒が少なく、信頼度についても多数の実績からきわめて高いことが実証されている。第4表に示すように当社の中容量変圧器には標準として最も多く採用している。なおOC形コンサベータはその構造からわかるように、1室形のものより3倍の容積が必要となるので、油量の多い変圧器に取り付けるのは外観上好ましくない。

B室—C室間の窒素ガス配管の途中に従来は酸素吸収器を取り付けていたことがあったが、その必要性について保守の簡便さの観点より再検討し、現在当社千葉工場内の変圧器で酸素吸収器をはずして実験中である。その途中経過からみると窒素ガス純度は10か月間で約5%の低下を示しているが、油の性状に顕著な変化はなく実用上問題とならない。なお窒素中の酸素量の増大を防ぐにはある期間を経過後、窒素ガスの交換を行なうのが実用的見地から最良の方法であると考えられる。当社のOC形コンサベータはAB室が上下に配置されているので、ポンベの窒素圧とシール油の油圧を利用して窒素ガスの交換はパルス操作のみで簡単に行なうことができる。

4. 隔膜式

これは第17図よりわかるように、本体油と大気との間に空気の透過性のきわめて小さい隔膜をそう入し、本体油を大気から隔離したもので、窒素ガスを使用しないことが他の方式と異なる大きな特徴である。図より明らかな



第17図 隔膜式コンサベータ

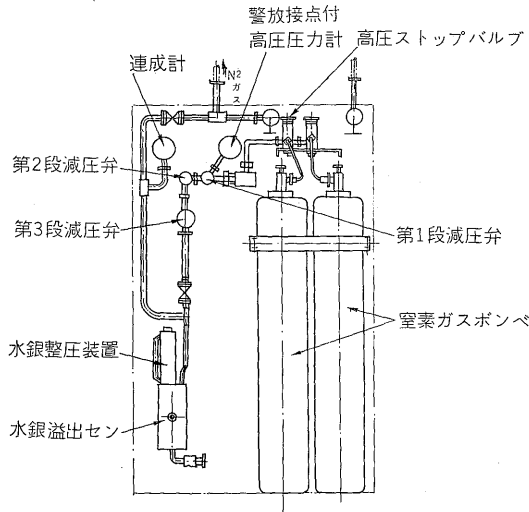
Fig. 17. Diaphragm type conservator

ように隔膜は柔軟性がありコンサベータ内の油面に密着浮遊しており、油の膨張収縮に応じて上下することになる。この際隔膜にはいかなる場合にも張力のかからない寸法構造になっている。上下動による屈曲作用に対しては、本誌上において既報のように、実物大モデルによる約10万サイクルの屈曲テストにより隔膜の機械的耐久性が非常に大であることを実証してある。また前述のように隔膜は油面に浮遊しているのみであり、油面は大気圧で一定に保たれるので過飽和現象による油中での発泡のおそれはない。また窒素ガスの封入補給、およびこれに伴う洩れの検出、ガス純度の測定などの面倒はなく保守はきわめて簡単となる。本装置は昭和36年頃から実用化した比較的新しい油劣化防止装置であるが、現在までに、超高圧大容量変圧器を含めて50数台に達する製作実績をもち、かつ良好な運転実績を積んでいる。この方式は第4表に示すように、現在では当社の代表的な油劣化防止方式の一つである。

隔膜式コンサベータに類似のものとして空気袋式コンサベータがある。これは隔膜の代りに空気袋を使用したものであり、原理的にはまったく同一である。ただし空気袋式にすると空気の油中への透過面積が大きくなり、大気シャ断の目的からは好ましくない。また袋の製作は一枚の平板状隔膜の製作よりも複雑であることはいうまでもない。これらの理由から当社では空気袋式コンサベータは顧客の指定がある場合にのみ採用している。

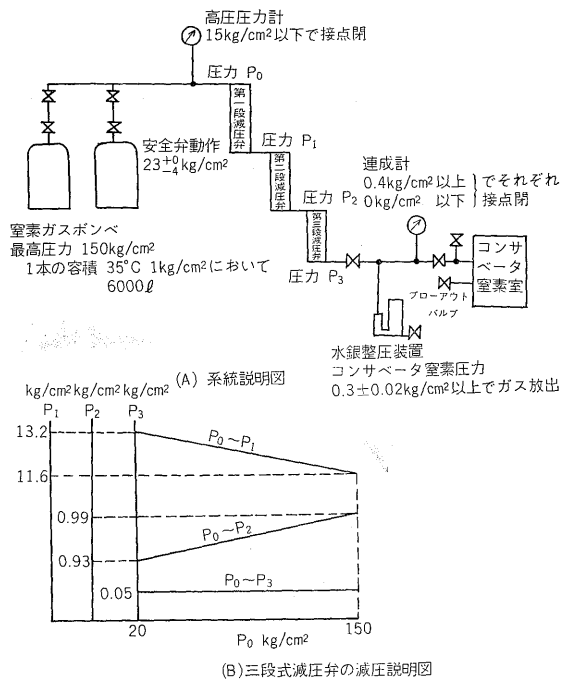
5. ポンベ式窒素封入装置

ポンベ式窒素封入装置の原理は、高圧窒素ガスポンベ、減圧弁、放圧弁を常時接続しておき、油温変化によるコンサベータ油面変動によりコンサベータ窒素圧が低下した時にポンベから減圧供給し、逆にコンサベータの窒素圧が上昇した時に過上昇分を大気中に放圧することを自動的に行ない、常にコンサベータ窒素ガス圧を一定範囲内に保つことにある。このポンベ式に用いるコンサベータはFT式に用いるのと同様一室式コンサベータであ



第 18 図 ポンベ式窒素封入装置

Fig. 18. Container type nitrogen gas seal equipment

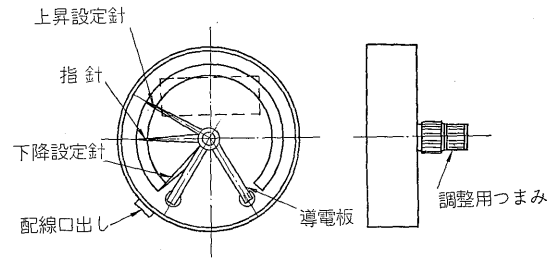


第 19 図 ポンベ式窒素封入装置動作ダイアグラム

Fig. 19. Diagram of operations

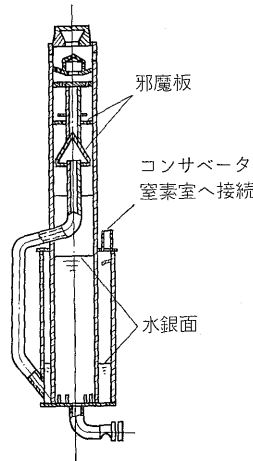
る。なお油温とコンサベータ油面との関係曲線は目盛板としてポンベ式窒素封入装置の扉に取り付けられている。原理上この方式では窒素ガスの消耗があり、1年に1回程度ポンベ交換が必要となるが、窒素封入装置としては最も小形にまとめられ、また窒素圧が負圧になることはない。なお酸素吸収装置は設ける必要がない。

ポンベ式窒素封入装置の構造を第 18 図に示す。窒素消費量は変圧器が大きくなればなるほど増加するので、装備するポンベが1本のものと2本のものと二種を標準とし、変圧器の大きさによって使い分けている。各部分の動作ダイアグラムを第 19 図に示す。圧力計は2箇所があり、その一つは窒素ポンベのガス圧指示用であり他の一つはコンサベータのガス圧指示用で第 20 図に示す。水銀整圧装置はその構造を第 21 図に示すが、コン



第 20 図 低圧圧力計 (連成計)

Fig. 20. Compound gauge



第 21 図 水銀整圧装置

Fig. 21. Mercury pressure-relief device

サベータの窒素圧が高まると窒素側の水銀面は押し下げられ、大気側(中筒側)の水銀面は押し上げられる。窒素側の水銀面が仕切壁以下に押し下げられればその穴から窒素ガスは泡となって中筒の水銀中に放出される。この放圧開始圧力は封入水銀量によって変えられるが、標準は第 19 図動作ダイアグラムに示すように、ゲージ圧力 0.3 ± 0.02 kg/cm² である。放圧開始圧力と放圧終了圧力とは厳密には等しくなく、放圧終了圧力の方がやや低い。実験結果を第 5 表に示す。この異なる理由は主として中筒の水銀面が放圧時上方に吹き上げられた水銀粒の落下によって乱されることにある。一回の窒素ガス放気量はコンサベータのガス室容積が大きいほど多くなることは説明するまでもない。一回の放圧時間はガス室容積が大きくなると加速度的に増加するが、概して数分から 20 分程度である。水銀粒の外部への跳出しは第 21 図に図示した邪魔板によって完全に阻止されるような構造になっている。

ポンベ式窒素封入装置の保守点検としては、1日1回程度バルブの開閉状態の確認、各圧力計指示の確認、ま

第 5 表 封入水銀量と放圧圧力

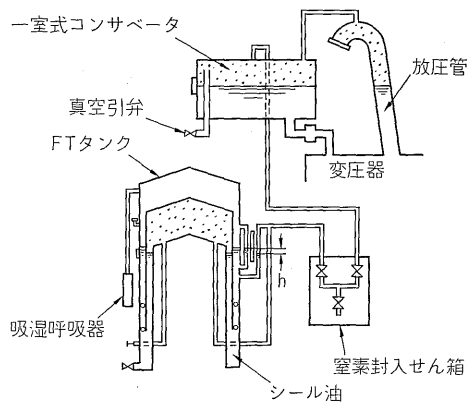
Table 5. Enclosed volume of mercury and relief pressure of nitrogen

封入水銀量 (cc)	600	660	796	888
放圧開始圧力 (kg/cm ²)	0.322	0.360	0.450	0.510
放圧終了圧力 (kg/cm ²)	0.317	0.354	0.440	0.500

た1年1回水銀整圧装置の水銀量の確認、配管接続部やバルブなどのガス漏れを石けん水法で確認が推奨される。装置の異常時はコンサベータを開放式に切り換える応急処置を施して、ボンベ式窒素封入装置の修理を行なうことができる。

6. F T 形

第22図のように一室コンサベータと別置ガス調整タンク（通称FTタンク）からなっている。変圧器油の膨張収縮により窒素ガスの移動が行なわれ、別置タンクのフロート（中タンク）が上下動することにより、油量の変化に対してガス圧は一定に保たれる。この圧力はフロートタンクの重量と内径により定まり $0.01 \sim 0.02 \text{ kg/cm}^2$ 程度の低い値である。この圧力に相当する油柱差 h を監視できる構造となっており、フロートタンクのひっかかりなどの動作不良はこれにて発見もできる。またフロートタンクの上限下限に必要な応じて警報用接点が設



第22図 FT形窒素封入装置

Fig. 22. FT type nitrogen gas seal equipment

けられる。本装置は図からも明らかなようにFTタンク内のシール油の空気に接する面積が非常に少なく、かつ気中酸素の窒素ガス中への拡散経路は長いので酸素の透過量はきわめて少ない。当社千葉工場の4.5MVA変圧器で昭和38年5月から40年7月までにわたる長期実験の結果、窒素ガス純度の低下はわずか1%にすぎず、また本体油の全酸価は0.002しか増加しなかった。したがってシール油を通しての酸素は拡散は実用上無視してよいと考えられる。FTタンクは別置形式が標準であるがこのため所要床面積が多少大きくなるので、現在では第4表に示す採用区分を標準としている。

V. む す び

最近の富士変圧器用付属装置について説明したが、本稿が最近の富士変圧器用付属装置を知る上において、また計画時の参考資料として、多少なりとも役立てば幸いである。本稿に記したもの他、各種の小付属品、保護装置があるが紙面の都合上割愛せざるを得なかった。変圧器の付属装置は現状にとどまるものではなく、変圧器の主要部とともに急速に進歩しつつあることを付言して本稿を終る。

参考文献

- (1) JEM 1152 (1959) 変圧器附属品関係用語
- (2) 川島, 雨宮: 3 DSC 1 形大容量負荷時タップ切換装置の開発と形式試験 富士時報 39 No. 6 (昭 41)
- (3) 川島, 雨宮: 変圧器用負荷時タップ切換装置要論 富士時報 39 No. 8 (昭 41)
- (4) 中田, 小林: 変圧器の油劣化防止装置とそれに関連する諸問題 富士時報 35 No. 6 (昭 37)
- (5) 山岡, 渡辺, 服部, 小林: 変圧器用隔膜コンサベータについての二, 三の考察 富士時報 37 No. 8 (昭 39)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。