

変圧器は産業用受変電システムの“変電”を担う機器で、プラント・機器への電力安定供給、信頼性維持のために重要な役割を果たしている。変圧器は、油入変圧器、SF₆ガス変圧器、モールド変圧器に大別されるが、それぞれがもつ特徴と市場ニーズが相まって発展・成長してきた。さらに、最近では国内市場特有なものとして1960年代の高度経済成長期に運転開始した多くの変圧器が更新対象となってきている。

当社は、難燃化・不燃化、省メンテナンス化、省エネルギー化のほか、小型・軽量化、現地工期の短縮化などの市場ニーズにもこたえられるようさまざまな開発を行い製品化している。

Transformer is one of the most important equipment of industrial substation. Various types of transformers such as the oil-immersed transformer, the SF₆ gas-insulated transformer, and the cast resin transformer are now being operated in the field. These transformers are selected according to their features and the market need. Recently, transformers installed in the period around the 1960s have reached the time where they need to be replaced by new transformers.

Toshiba supplies many types of transformers for such replacement demand.

1 まえがき

産業生産活動での電気は必要不可欠なもので、万一のトラブルで電気がとだえれば、そこでの生産システムは停止することになる。その活動の源である変圧器は、産業用受変電システムにおける“変電”を担う機器で、電力安定供給、信頼性維持の面で重要な役割を果たしている。このため、変圧器への信頼性と安全性の要求はますます高まっている。

従来、市場のニーズとしては屋内設置機器の難燃化、不燃化、省メンテナンス、省エネルギーなどであったが、1960年代の高度経済成長期に運転開始された変圧器が、約30年経過して更新の対象となることから、①小型・軽量化、②現地工事工程の短縮化、③分割搬入、現地組立商品など、国内市場特有の市場ニーズが出てきている。

ここでは、産業用受変電システムの変圧器への市場ニーズに対する当社の代表的な技術・製品について紹介する。

2 油入変圧器

油入変圧器は、1960年代の高度経済成長期に製造されたものが約30年経過して更新の対象となってきており、いわゆるリニューアルやリプレース関連の需要が増加の傾向にある。

この需要対応のため、当社では次のような視点から技術開発に取り組んできた。

- (1) 変圧器容量が同一の場合、既設より低損失にする。
- (2) 同一の場所に設置する場合、容量が1ランク上の変圧器に置き換えることができる。
- (3) 置き換え工事のリードタイムを短縮できる。

2.1 低損失化技術

産業用受変電で使用される変圧器は、比較的低い負荷率で運転されるため、高効率化を図るには無負荷損の低減が重要になる。そのために、磁気特性の優れた鉄損の小さいケイ素鋼帯を用いるとともに、大型の変圧器においてはステップラップ式の積層鉄心とし、1,500 kVA クラスの配電用変圧器までは巻鉄心を採用している。

図1に、当社配電用変圧器の損失の推移を示す。現在の標準変圧器は、30年前に比べ約50%（当社比）の無負荷損低減を達成している。

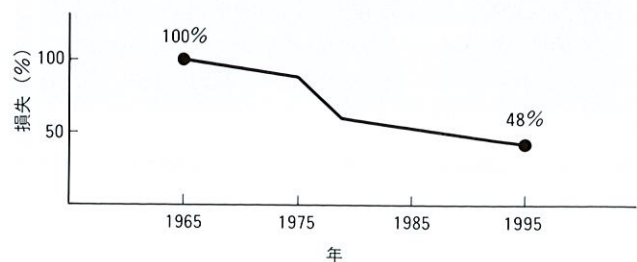


図1. 1,000 kVA 配電用変圧器の無負荷損の推移 1960年代の値からほぼ半減化している。

Decrease in no-load loss of 1,000 kVA distribution transformers

2.2 小型化技術

図2は、1960年製の1,000kVA変圧器と現在の2,000kVA変圧器の大きさを比較したもので、両者の床面積はほぼ等しいことが分かる。当社では、このクラスの変圧器にコルゲートフィン形放熱器（リブ式放熱器）を採用している。コルゲートフィン形放熱器を採用した変圧器の外観を図3に示す。

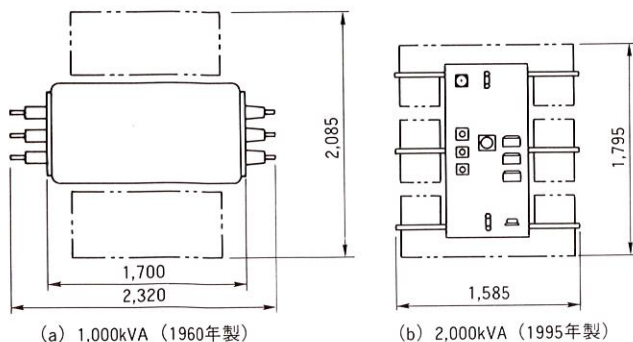


図2. 配電用変圧器の設置面積比較 現在の2,000kVA変圧器は、1960年製の1,000kVAのスペースに設置できる。

Comparison of 1960s model and new distribution transformers

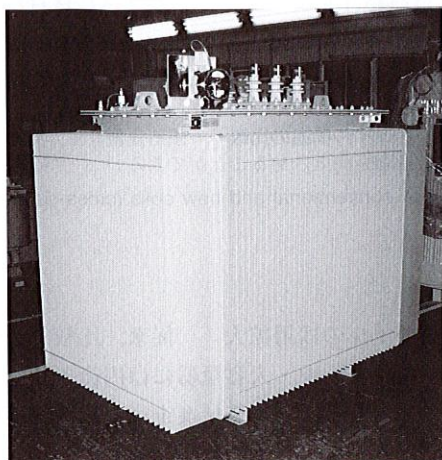


図3. コルゲートフィンを採用した変圧器 コルゲートフィンの採用により、大幅な縮小化を達成した。

Transformer with corrugated fin

2.3 据付工事期間の短縮

変圧器の据付工事期間を短縮するには、変圧器を分解しないで輸送するほうが有利で、信頼性確保のうえでも有効である。

当社では、油劣化防止装置のくふうと新しい放熱器構造の採用により20MVAまで全装備輸送ができ、30MVAまでは絶縁油の一部を抜き取るだけで輸送できるようにしている（口絵参照）。

3 SF₆ガス絶縁変圧器

変圧器の規格がJEC-204-1974からJEC-2200-1995へと改訂された。乾式変圧器の一種に分類されていたガス絶縁変圧器は、今回の改訂において独立した扱いとなり、その位置づけが明確になった。これはガス絶縁変圧器が一般的に用いられるようになってきたことの一つの証拠といえる。

ガス絶縁変圧器は、ビル受変電設備や地下変電所などに用いられることから、小型化が強く求められる。ここでは、ガス絶縁変圧器小型化のための技術を紹介する。

3.1 F種絶縁材料の採用

従来のガス絶縁変圧器には、主な絶縁物としてPET (Poly-Ethylene Terephthalate) フィルムを用いることが多かった。PETはE種絶縁物であるため、これをF種絶縁物に変更すれば温度上昇を高くでき、小型化が図れる。

当社では、PETに代わるF種絶縁物としてPEN (Poly-Ethylene Naphthalate) フィルムを用いる研究を進め、実用化に成功した。整流器用変圧器に適用した例では、床面積で約80%、体積では約70%に縮小した。

3.2 冷却技術と絶縁技術

ガス絶縁変圧器は、コンサベータなどの油劣化防止装置を必要としないため、その制約がなく、比較的自由に放熱器を配置することができる。この特長を活用し、放熱器を変圧器タンク上部へ配置するとタンク横に配置した場合に比べて、床面積は約1/3になる。

一方、SF₆ガスは油に比べて冷却能力が劣る。図4はガスを垂直に流すことでガス流速を上げ、冷却性能の向上を図った多重円筒巻線である。この巻線は外雷や開閉サージが変圧器へ侵入すると、分担電圧が円板巻線より大きくなる。このため、図5に示すようにCAE (Computer Aided Engineering) により巻線の電位振動の詳細を計算し、層間の局部

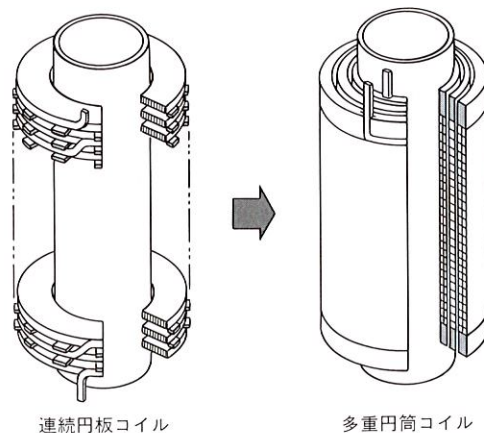


図4. ガス絶縁変圧器用巻線 従来の連続円板コイルに比べ、多重円筒コイルは冷却性能が優れている。

SF₆ gas-insulated transformer windings

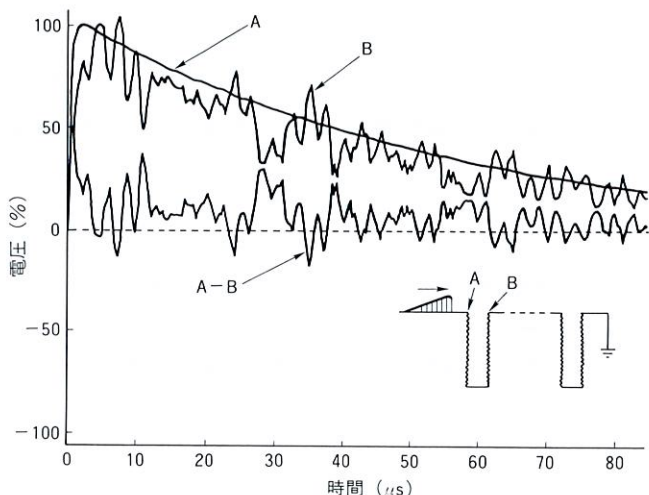


図5. 多重円筒コイルの電位振動解析 層間にかかる電圧をCAEから求め、設計へ反映する。

CAE analysis of layer-to-layer voltage

電界がSF₆ガスの許容電界以下になるように設計している。

4 モールド変圧器

モールド変圧器は、1977年の市場投入以降ワニス含浸タイプにとって変わり、数多く採用されてきているが、それはモールド変圧器が次のような特長をもち、高い評価を得たことにある。

- (1) 難燃性、自己消火性である。
- (2) 巻線が堅牢(ろう)で、短絡時の電磁機械力に強い。
- (3) 耐塵(じん)・耐湿性に優れる。

当社では、これまでに約35,000台、延べ容量にして約11,500 MVAを生産している。

また、単器容量も拡大されつつあり、現在では一次電圧22 kV級で10 MVA級のが製作されるようになってきている。

今後、電源設備の難燃化のニーズはますます高まることが予想され、防災性が重要視される設備では油入変圧器に代わる機器としていっそうの採用拡大が予想される。

前述のようなモールド変圧器固有の特長に加えて、近年さらにモールド変圧器に要求される項目として次の3点が挙げられる。

- (1) コンパクト化
- (2) 分解搬入の容易化(リニューアル、リプレース対応)
- (3) 静音化

以下に、これらのニーズに対する当社の主な取組みとその成果を紹介する。

4.1 コンパクト化

依然として都心部の地価は高く、この都心部に建設され

るビルの電気室縮小は大きな命題になっている。

当社は、電気室の縮小→変圧器の小型化要求に対し次の2点を中心として取り組んできた。

- (1) 巻線構造の合理化(一次電圧6.6 kV級) 巻線は変圧器の心臓部に当たるもので、その絶縁信頼性の維持・向上は必須(す)項目である。一方、変圧器のコンパクト化という視点でみた場合、この巻線(モールドコイル)の小型化がポイントとなる。

当社ではこの6.6 kV級モールドコイルに従来のブロック分割コイルに代えて、傾斜連続コイル(図6)を新たに採用することにより、モールドコイル内の導体占積率を約70%から80%へ向上させることができた。

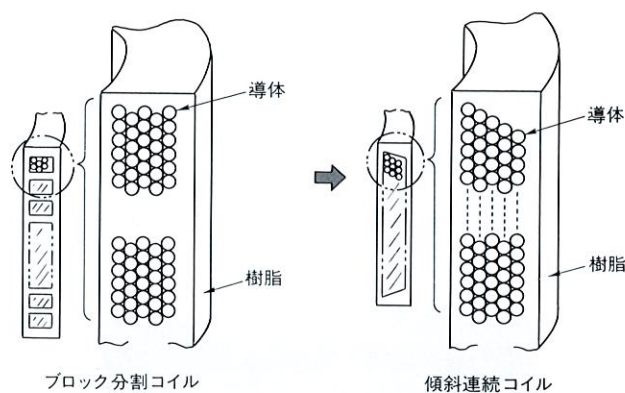


図6. モールドコイル構造の比較 傾斜連続コイルはモールドコイル内の導体占積率を向上させることができる。

Comparison of conventional and new coils (cross-sectional view)

- (2) 角筒コイルの採用拡大 従来、比較的小容量器は角筒コイルを、中・大容量器には円筒形状コイルを採用してきている。この形状選定は主に短絡強度で制限されており、モールド変圧器の場合は2,500 kVA程度が角筒コイルの上限であった。しかし、図7に示すように一般に角筒コイルは円筒コイルの約80%の据付面積となるため、採用拡大を追求した。

短絡時発生応力の解析を行うとともに巻線内冷却ダクトの改良、絶縁構成の見直しにより5,000 kVAまで角筒モールドコイルの採用を実現した。

4.2 分解搬入の容易化

1960年代後半から1970年代前半の高度経済成長期に多く納入されたシリコン乾式変圧器は、すでに運転開始後30~40年が経過して老朽更新の時期を迎えている。

しかし、当時建設された受変電室に変圧器完成状態で搬入することが不可能というケースがある。

そのため、図8のように搬入制限に応じて変圧器を分解

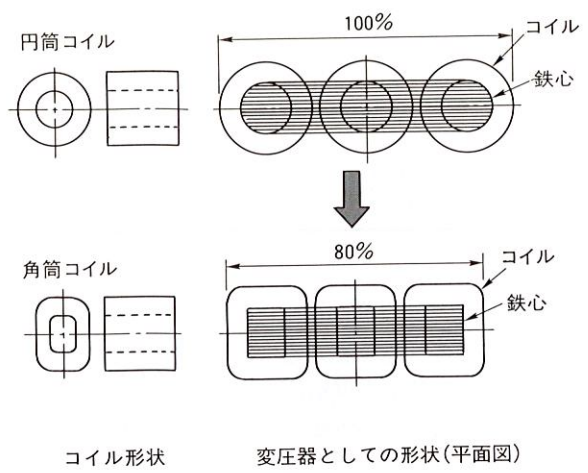


図7. 円筒コイルと角筒コイルの比較 角筒コイルは円筒コイルの約80%の据付面積となる。

Comparison of cylindrical and rectangular coils

タイプ	搬入形態	現地組立手順
端子取外し輸送 変圧器横倒し搬入	変圧器を横倒し ジグ	変圧器を起立 → 端子取付け → 変圧器完成
鉄心E形輸送 コイルつり入れ	鉄心 コイル	コイルつり入れ → 端子取付け → 変圧器完成
鉄心分割輸送 コイルつり入れ	ヨーク鉄心 レグ鉄心 コイル	鉄心起立後コイルつり入れ → 鉄心積み → 端子取付け → 変圧器完成

図8. 分解搬入形態と現地組立手順 搬入制限に応じた現地組立方法を準備している。

Form of shipment and assembly sequence at site

搬入し、受変電室内で変圧器の組立・試験を行うシステムを確立した。これにより、変圧器の老朽更新、容量増更新への幅広い対応を可能としている。

5 あとがき

変圧器の産業生産活動における重要性、技術および製品の動向について紹介してきた。今後とも変圧器への信頼性、安全性の要求は高まるため、当社はその品質維持、向上を図るとともに社会・ユーザーニーズを具現化することに注力していきたい。



竹越 文男 Fumio Takekoshi
電機システム事業部産業電力システム技術部課長。
産業用受変電システムのエンジニアリング業務に従事。
Industrial Automation Systems Div.



塩田 広 Hiromu Shiota
三重工場静止器部主査。
変圧器の開発・設計に従事。電気学会会員。
Mie Works



東山 雅一 Masakazu Higashiyama
電力事業部電力変電技術部主査。
変圧器の開発・設計に従事後、現職。電気学会会員。
Power Systems Div.