

電力用変圧器は、安定した電力供給の一翼を担う機器の一つとして、重要な役割を果たしている。当社では、昭和17年の創業以来50年間、柱上変圧器から出発して現在では154kV 200MVAの負荷時タップ切換変圧器の製作実績までを有する。

この間、変圧器及びその周辺機器の設計、製作技術向上のためのたゆまぬ努力により、一步一步着実に前進を重ね、高性能化を図り現在に至った。

小・中形変圧器の場合、このような技術の進歩は要素技術の進歩もさることながら、使用材料の進歩に負うところも大である。例えば、鉄心材料であるけい素鋼帯の場合、無方向性けい素鋼帯から方向性けい素鋼帯、更に最近では磁区制御けい素鋼帯といった材料の特性向上は、鉄心の組立技術の改良と相まって変圧器の小形軽量化、低損失化に大きく貢献している。

昭和49年に発表されたアモルファス合金は、更に鉄損の少ない材料として注目されており、現在では量産体制も確立して、すでに柱上変圧器4000台余りを各電力会社殿に納入した。

電力用変圧器と言えば大部分が油入式であるが、特に防火性が要求されるような場所では、モールド変圧器やSF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器などが採用されている。モールド変圧器は昭和50年より開発を開始した。これには金型方式と金型レス方式があり、それぞれ目的に応じて使い分けられている。ガス絶縁変圧器は昭和53年より基礎研究を始め、20MVAのプロトタイプ器まで製作した。中形器としては昭和60年以降すでに300台余りの納入実績がある。

大形変圧器の分野においては、現在では殆どが負荷時タップ切換変圧器となっている。これに使用される負荷時タップ切換器は昭和56年以来当社製のEL形を採用している。また大容量化に伴う諸問題については、最新の測定技術、解析技術を駆使して解決に当たっている。

関連機器としては、昭和37年以来1万台に達しようとしている簡易形自動電圧調整器、昭和52年に我国で初めて量産化した放射状積鉄心採用の分路リアクトル、SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器に先駆けて昭和59年に完成したSF<sub>6</sub>ガス絶縁中性点接地抵抗器等がある。

機器本体の信頼度の他に、機器の故障予測技術も今後の重要な課題である。そのため新しいセンサ技術、エレクトロニクス技術を取り入れた予測保全装置の開発を進

めている。

このように当社では、常に新しい技術の開発に向け研究に努めているが、将来技術の一つとして期待されている、超電導変圧器についても平成4年名古屋大学と共同にて1500kVAを製作し、研究を続けている。

上記のほか、特殊変圧器として整流器用変圧器、炉用変圧器、接地変圧器等にも多数の実績がある。

## 1 電力用変圧器・分路リアクトル

電力用変圧器を容量によって分類すれば、一般に柱上変圧器と言われる小形変圧器、当社の産業用変圧器シリーズであるCOSMシリーズに代表される中形変圧器、並びに大形変圧器となる。

昭和17年創業当初は、柱上変圧器再生工場として発足したのであるが、昭和22年に柱上変圧器の製作を開始、昭和24年には中・大形変圧器の製作を開始し、現在では275kV、250MVA変圧器まで製作可能となっている。

この内、柱上変圧器は別稿に譲ることとし、後二者について述べる。

### 1.1 中形変圧器

中形変圧器は、主として一般ユーザが対象になっており、技術革新の最も激しい部門である。当社においては、絶えず製品の要素技術に改良を重ねているが、特に昭和58年に初めてコルゲート放熱器を採用した新しい低損失形COSM Iシリーズを発表して以来、現在ではCOSM IIIシリーズを発表し、中形変圧器における主力製品となっている。

中形変圧器の主な要素技術変更の歴史を表1に示す。

現在新しくCOSM IVシリーズを準備中であり、常に高品質、コンパクト化及び経済性を追及する努力を続けている。

表1 中形変圧器の開発経緯

開発年	項目
昭和29年	ホルマール電線の採用
昭和40年	G-S短冊鉄心の採用
昭和41年	アルミ平角線の採用
昭和42年	パネル放熱器の採用
	条リード冷間圧接の採用
	アルミ条変圧器の開発
	接着絶縁紙の採用(ワニスレス化)
昭和48年	両脚並列巻の開発(条巻変圧器)
昭和53年	Vノッチ鉄心の採用
昭和55年	5脚巻鉄心(ワンターンカット)の開発
昭和57年	3脚巻鉄心(ワンターンカット)の開発
昭和58年	コルゲートリブ放熱器の採用
	COSMIシリーズ発表
	銅条変圧器の開発
昭和60年	粉体塗装電線の採用(羽子板端子スタッド)
	COSMIIシリーズ発表
昭和62年	COSMIIIシリーズ発表

## 1.2 大形変圧器

大形変圧器に関しては、昭和28年に77kV変圧器の製造体制を整え、大形変圧器の製造を開始した。また昭和34年には負荷時タップ切換変圧器(LRT)の1号器が完成した。それ以来、配電用変電所に設置される、60～70kV級、定格容量10～30MVAのLRTは、当社の主力製品のひとつとなっている。

154kV級変圧器は、昭和48年に新大型変圧器工場を建設し、昭和50年に150MVA LRTを完成した。

現在までに154kV級は約90台の納入実績がある。また275kV級変圧器に関しても、昭和60年に50MVA製作、平成3年には250MVAプロト器の製作を行った。

LRTとは、変圧器を励磁又は、負荷をかけた状態でタップ切換を行う、負荷時タップ切換器を備えた変圧器で、仕様の一例を示すと、

- 相数 3
- 周波数 60Hz
- 定格容量 10000kVA
- 一次電圧 84000～66500V (21タップ)
- 二次電圧 6750V
- 結線 星形-星形(安定巻線内蔵)

負荷時タップ切換方式は、当初は2次間接切換、リアクトル式が採用されていたが、現在では全て1次直接切換、抵抗式となっている。特に昭和56年以降は当社で開発したEL形タップ切換器を使用している。

EL形タップ切換器にはEL-2形とEL-4形があり、それぞれの定格を表2に示す。

更に、新しい方式として真空バルブ切換方式、サイリスタ切換方式の開発も進めている。

変圧器に要求される課題の一つは、省エネルギーである。当社では高配向性けい素鋼帯、磁区制御けい素鋼帯

表2 EL形負荷時タップ切換器の定格

形式	EL-2	EL-4
定格ステップ電圧 V	1500	700
定格通過電流 A	230	400
絶縁階級号	100	100
タップ点数	17,19,21	17,19,21

などの新しい鉄心材料の採用、Vノッチステップラップ積層方式の採用などによる無負荷損や騒音の低減、電圧・電流に適応した巻線構造と導体の選択、並びに大容量器においては磁気シールドの採用等による負荷損の低減などによってこの要求に答えている。また変圧器のコンパクト化のため、合理的な絶縁設計、効果的な冷却方式の選定なども重要である。

このような新しい技術の開発・検証のため、モデルによる試験、あるいはプロト器による実測などのほか、鉄心・巻線中における磁束や損失の分布、巻線内電圧分布と電界強度、変圧器内部の油流と温度の算定等々に最新の解析技術を駆使している。

## 1.3 分路リアクトル

分路リアクトルは、変電所において進相電流を補償する目的で使用され、各種の方式があるが、当社では全てギャップ付鉄心形リアクトルを採用している。この鉄心はギャップ部分における磁束のフリンジングに起因する鉄損の増加を防ぐため、けい素鋼帯を放射状に積層して樹脂で一体化した鉄心ブロックとし、このブロックと絶縁スペーサとを交互に積重ねて、上下より強固に固定する構造となっている。

また変圧器と異なり漏れ磁束が多くなるので、漂遊損の低減及び騒音低減のために、独特の技術を採用している。

当社における分路リアクトルの開発は、昭和52年に77kV、30MVAリアクトルの製作に始まり、現在までに約60台の実績を持っている。

リアクトルにタップなどを設けた、容量可変分路リアクトルも採用されるようになってきたので、これに対応すべく準備を進めている。

# 2 アモルファス変圧器

省エネルギーは現代社会の重要な課題の一つである。変圧器においても、その電力損失を低減する努力が払われており、中でも主に鉄心から発生する無負荷損については、鉄心素材であるけい素鋼帯の特性改善による低損失化が進められてきた。

ところが、1974年(昭和49年)に全く新しい低損失材料が米国アライド社から発表された。それは鉄(Fe)にボロン(B)、けい素(Si)を加えた合金で、熔融状態から

急冷し、アモルファス状態にした磁性材料である。

表3に変圧器用に使用されている、アモルファス合金 METGLAS 2605S-2 (原子組成 Fe 78%, B 13%, Si 9%) の諸特性を、現行の高配向性けい素鋼帯と比較して示す。

表3 アモルファス合金とけい素鋼帯の特性比較

項目	アモルファス合金	けい素鋼帯
鉄損 W13/60 W/kg	0.26	0.65
励磁容量 S13/60 VA/kg	0.20	0.70
飽和磁束密度 T	1.56	2.03
キュリー点 ℃	415	745
密度 g/cm <sup>3</sup>	7.19	7.65
厚さ μm	25	270

このアモルファス合金の特徴は、鉄損の少ないことであるが、その反面薄い、脆い等の欠点もある。しかし、当社ではその有用性に早くから着目し、基本的な焼鈍条件の検討を始め、最適曲率半径の決定、鉄心加工技術などの基礎研究を続けてきた。

また実器としても表4に示すように10kVA巻鉄心変圧器を始め、多くの試作を行い、無負荷損は現行けい素鋼帯巻鉄心変圧器の1/3以下に低減できることを確認した。

研究を通じアモルファス合金が常温で、実用的に切断できる技術を開発し、昭和59年には、配電用変圧器として、世界最初のワントーンカット巻鉄心変圧器を完成した。これは、アライド社を通じ、日米の関係業界に公表され、ワントーンカット変圧器の実用の可能性を示したものととして、大きく評価されている。なお、現在量産されているアモルファス変圧器は、ワントーンカットステップラップジョイント形巻鉄心が主流となっている。

表4 アモルファス変圧器の開発経過

昭和56年	基礎研究開始
昭和58年	単相 10kVAノークット巻鉄心変圧器
昭和59年	単相 5kVAワントーンカット巻鉄心変圧器
昭和60年	3相 75kVA積鉄心変圧器
昭和62年	3相 500kVA積鉄心変圧器
平成3年	ワントーンカット巻鉄心変圧器の量産体制確立
平成4年	3相 10kVAワントーンカット巻鉄心変圧器

現在のところ、各電力会社殿に対する納入実績は表5に示すように合計4300台余りに達しており、好評の内に実運転中であるが、今後も引き続き需要が見込めれている。

将来的には、益々増大する省エネルギーの要求と共に、アモルファス変圧器の重要性も増してくるであろうが、けい素鋼帯変圧器に比べると材料費が高い、加工技術が複雑であるなどの面から、経済的には若干不利な状況にある。現在はこの経済性の問題を、メーカーとして、加工技術で克服できないか、鋭意努力改善している段階で

ある。また、引き続き大容量器の開発をも目指して研究を進めており、省エネルギー推進のため、アモルファス変圧器の可能性に期待している。

表5 アモルファス変圧器の納入実績

電力会社名	定格容量 (kVA)	納入台数
北海道電力	10~20	4328 (合計)
東北電力	30	
東京電力	10~50	
中部電力	10~50	
関西電力	10~30	
九州電力	30	

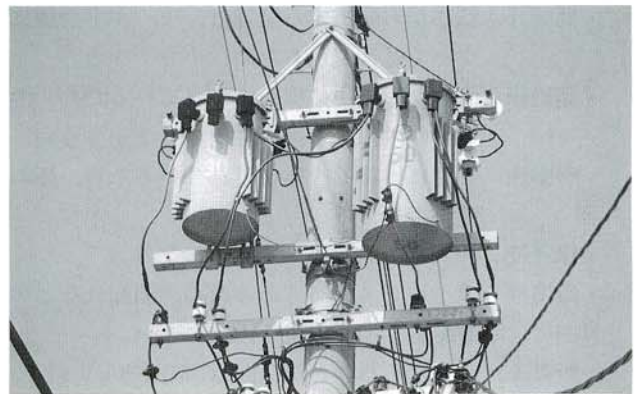


図1 アモルファス変圧器(1φ6.6kV 20,50kVA)

### 3 モールド変圧器

欧州で開発されたエポキシレジンモールド変圧器(以下モールド変圧器と言う)は、日本においても約20年前より採用され、その優れた防災性、保守の容易性及びコンパクト性等のため、乾式変圧器の主流を占めるようになった。特に最近では、屋内用キュービクル、都市部のビル、地下街等に多数使用されている。

また、1991年(平成3年)にはJIS C 4306「配電用6kVモールド変圧器」も制定され、今後一層の需要拡大が見込まれる。

このような背景のもと、当社では昭和50年よりモールド変圧器の開発を始め、昭和53年から金型タイプの注型モールド変圧器の販売を開始した。一方、昭和55年、金型レスタイプモールド変圧器について、当時の西ドイツのASEA LEPPER社と技術提携を行い、昭和57年より販売を始めた。

このように、既に多数の納入実績を有しユーザーより好評を博している。

モールド変圧器の特長は、

- ・難燃性 樹脂には無機質の充填材が混合されており、そのため自己消費性を持つ。
- ・省エネ コンパクトなモールド巻線のため、鉄心、

表6 モールド変圧器の製作方式

方式	方法	絶縁	内容	特長
金型方式	注型法	B種	金型内に巻線をセットし 充填材入り樹脂を真空注入、硬化	量産向 型を必要とするため、一品対応不可
金型レス方式	ブリプレグ法	F種	予め樹脂を含浸し、半硬化したガラス テープ類を巻線に巻付け、硬化	特殊品向 一品対応可
	フィラメントワインディング法	F種	フィラメントに樹脂を含浸させながら 巻線に巻付け特殊な方法で硬化	機械的強度に優れ大容量器、負荷変動の 激しいものに適している

巻線が縮小化され、発生損失が少なく、ランニングコストの低減にもなる。

- ・小形化 巻線各部の絶縁は、電氣的に優れた樹脂層に依存するため、絶縁寸法が縮小でき、変圧器全体が小形・軽量化される。
- ・低騒音 鉄心から発生する騒音は、モールド巻線によって遮音されるため、小さくなる。
- ・高絶縁 巻線が樹脂中に埋め込まれているため、湿気や塵埃による絶縁性能の低下が少ない。
- ・堅牢性 巻線は樹脂で一体化されているため、極めて堅牢である。
- ・保守性 油入変圧器に比べて簡単になる。
- ・環境性 オイルレス機器であるため、油漏れなどの心配もなく、環境を汚染しない。

一般にモールド変圧器の製作範囲は、電圧 30kV 以下、定格容量 10000kVA 以下である。

当社のモールド変圧器は製法によって表 6 に示す 3 種類の方法があり、ニーズにあった方式を選択することができる。

現在、日本国内においてモールド変圧器 12000 台/年生産されており、年 10 ~ 20 % 需要が伸びている。

モールド変圧器が登場することによって、配電盤を主とした関連機器の改良、新機種の開発も促進され、受電設備の信頼性・安全性の向上、小形化、取扱上の改善が図られるようになった。

特に、モールド変圧器の小形化に伴って、奥行 700 mm の薄形キュービクルが製品化され、ビル内電気室、変電室の縮小化が可能となり、建築費の低減にも貢献している。

現在、一層の低損失化、屋外用途品の開発、他機器との複合による縮小化等が進められており、モールド変圧器の必要性は益々高まってくるものと予想される。

## 4 簡易形自動電圧調整器

変電所用変圧器では、より良質な電気を供給するという目的に沿って、当初の無電圧タップ切換器付から、負荷時タップ切換装置付へと進んできた。このことは、一般の配電線においても例外ではなく、そのため簡易形自動電圧調整器 (SVR) が採用されている。

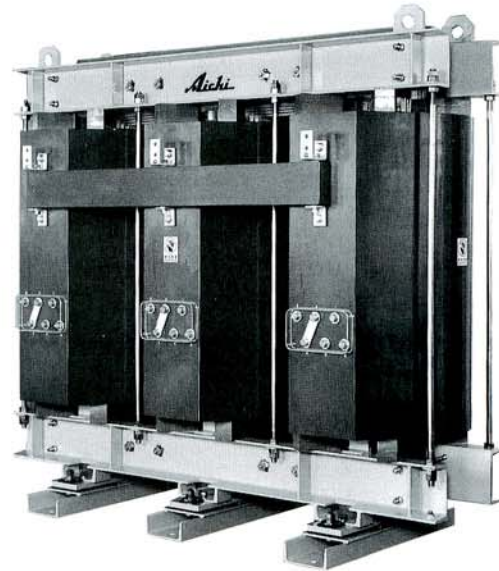


図2 モールド変圧器 (3 $\phi$ 6.6kV 2500kVA)

SVR は 6 kV 配電線路上に設置し、その電圧を負荷電流に応じて自動的に、4 ~ 9 段階に切り換える装置であって、主として電圧調整変圧器、負荷時タップ切換器及び制御回路より構成される。

当社では、昭和 37 年から SVR の製作を開始した。当初は全体を小形化する目的で、V 結線が採用されていたが、V 結線の場合は線路の状態によっては、零相電圧が発生することがあるため、昭和 60 年には星形結線の SVR を開発した。また最近では負荷の増大に伴い、大容量の SVR が必要となり、そのため平成 2 年には、線路容量 5000kVA の SVR を開発した。

本器は線路電流が大きいため、直列変圧器を使用し、タップ選択開閉器の電流負荷の低減を図っている。この仕様を示すと、

- 相数 3
- 周波数 60 Hz
- 線路容量 5000 kVA
- 一次電圧 7050 ~ 6300 V
- タップ点数 6 (タップ間電圧 100V)
- 二次電圧 6750 V
- 結線 星形

SVR のタップ切換は、タップ選択開閉器により、限流抵抗を介して切り換える方式が大部分である。表 7 に当

社の SVR 用タップ切換器の定格を示す。

表7 タップ切換器の定格

形式	ステップ電圧 V	通過電流 A	タップ点数	結線
2 RC30	200	300	4, 9	V
8 RC15	150	800	6	星形
2 RG30	200	300	9	星形
10RA40	400	400	9	星形

最近では電力用サイリスタの進歩に伴い、タップ切換器にサイリスタを応用する研究が進んでいる。当社では平成3年から中部電力㈱殿と共同にて、双方向静止形電圧調整器（XVR）の開発を開始した。この仕様を示すと、

- 相数 3
- 周波数 60 Hz
- 線路容量 3000 kVA
- 一次電圧 6750 ± 300 V
- タップ点数 7（タップ間電圧 100 V）
- 二次電圧 6750 V
- 結線 星形

サイリスタ切換方式の採用によって、

- ・高速切換のため、電圧変動に対する高い応答性
- ・接点の消耗、油の汚損等がないため、保守の簡素化
- ・操作の容易性

等の利点が得られる。

SVR は日本国内においては、すでに約 9000 台の納入実績を持っている。国外においては、未だ数 10 台の程度であるが、今後、良質な電気に対する要求は、どの国においても益々高まっていくものと想定される。このような情勢に対処するため、国内のみならず、国外においても高品質な SVR を供給できるように、研究・開発を進めている。

## 5 SF<sub>6</sub> ガス絶縁機器

過密化した都市部における変電所においては、高い信頼性は勿論のこと、防災性・環境調和性の優れたものであることが強く要求されている。このようなニーズに対応するため、防災性、特に不燃性の優れた SF<sub>6</sub> ガス絶縁の変圧器及び中性点接地抵抗器の開発を行った。

### (1) SF<sub>6</sub> ガス絶縁変圧器

SF<sub>6</sub> ガス絶縁変圧器は、表 8 に示すように昭和 53 年に基礎研究を開始して以来、自冷式・送ガス水冷式等 3 台のプロト器を製作し、各種試験を実施した。

これらの開発にあたっては、E 種、F 種、H 種それぞれの絶縁種別に対応した、絶縁材料の熱特性、SF<sub>6</sub> ガスとの適合性の検証を行い、一方、冷却特性把握のため、ガス流体解析・コイル内熱分布解析などの解析技術を駆使して、良好な冷却効果の把握に努めた。

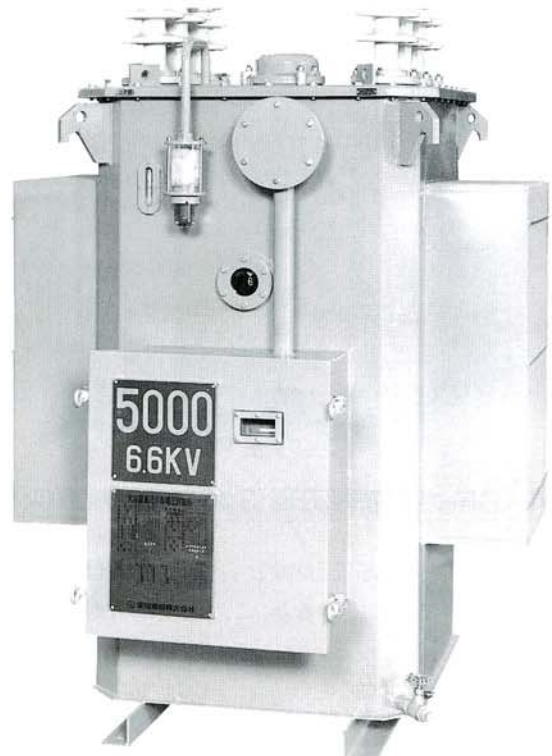


図3 簡易形自動電圧調整器(3φ6.6kV5000kVA)

表8 SF<sub>6</sub> ガス絶縁変圧器の開発経過

昭和53年	SF <sub>6</sub> ガスの冷却、絶縁に関する研究開始
昭和57年	単相 60Hz 77/6.6 kV 1000/1800 kVA 自冷/送ガス自冷式変圧器製作
昭和62年	3相 60Hz 77/6.6 kV 20/26 MVA 送ガス水冷式変圧器製作
平成1年	3相 60Hz 33/6.6 kV 3000 kVA 自冷式変圧器製作

この他、最近の傾向として保守の簡素化、設置スペースの縮小を目的とした、補機レス化（完全自冷式）、トップラジエータ方式等が計画されており、そのための研究開発も進めている。

実器としては、昭和 60 年以來、香港電力ほかに自冷式 500 ~ 2000kVA、324 台を納入し、また国内では中部電力㈱殿に 4 台の納入を予定している。

### (2) SF<sub>6</sub> ガス絶縁中性点接地抵抗器（NGR）

NGR は昭和 57 年に中部電力㈱殿と共同研究を開始し、昭和 59 年に 77kV、200A、15 秒定格のプロト器を完成させ、フィールド試験を実施した。

本器の特長は地絡時に発生する熱を効果的に放散して、SF<sub>6</sub> ガスの温度上昇とタンクの圧力上昇を抑制するため、抵抗体が入っている内側タンクには CO<sub>2</sub> ガスを封入し、それを SF<sub>6</sub> ガスを封入した外側タンクに収納する、二重タンク構造としたことにある。これによって、加熱分解の恐れのある SF<sub>6</sub> ガスが、直接抵抗体に接することもなく、充電部の密閉化及び NGR のコンパクト化を達成することができた。

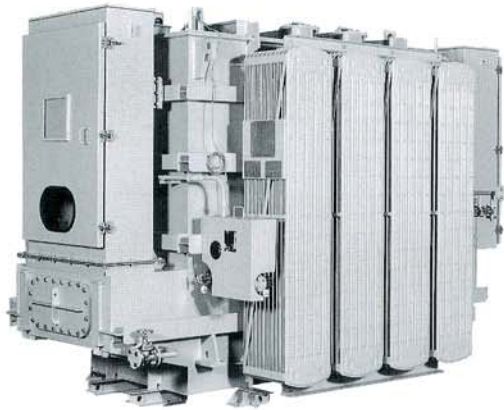


図4 SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器(3φ33/6.6kV 3000kVA)

現在までの、中部電力(株)への納入台数は表9に示すように50台に達しているが、この他の電力殿よりも数多く引合いを受けている。

表9 SF<sub>6</sub>ガス絶縁NGRの納入台数

電圧 kV	電流 A	時間 s	抵抗 Ω	納入台数
22/√3	200	15	63.5	2
33/√3	200	15	95.3	1
//	400	15	47.6	17
77/√3	200	15	222	3
//	400	15	111	24
154/√3	100	15	890	2
//	200	15	445	1

今後、SF<sub>6</sub>ガス機器の需要は益々増大の傾向にあると考えられる、このような情勢に対処するため引き続き研究を進めている。

## 6 予測保全装置

高度情報化社会の進展に伴い、電力の安定供給と質的改善の必要性は益々高まっている。そのため、運転中の電力機器に対する、故障の未然防止と保守の効率化を目指した設備保全技術が要望されている。

それには、従来からの巡視・点検を主体とする計画保全では限度があり、機器を運転状態のまま異常を予知する、予測保全技術が必要となる。

このような背景のもと、油入変圧器を対象に、最新のセンシング技術、エレクトロニクス技術を活用して、内部の絶縁劣化や過熱などの兆候を、遠方から自動監視診断し異常を予測する、予測保全装置を開発した。

本装置は変圧器本体及び負荷時タップ切換器(LTC)の駆動装置に取り付けた各種センサ、現地処理装置並びに遠隔監視装置より構成される。

センサとしては、部分放電センサ、油中ガスセンサ、LTC駆動軸トルクセンサ、絶縁油誘電正接(tanδ)セン

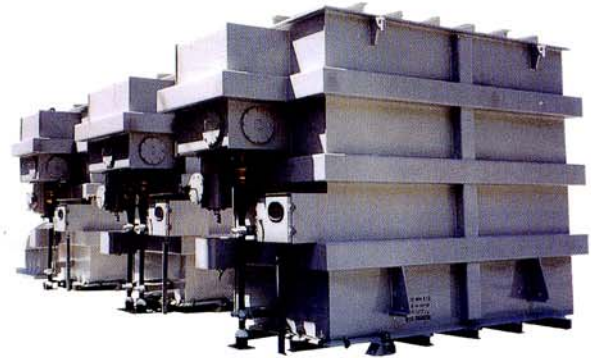


図5 154/√3kV SF<sub>6</sub>ガス絶縁中性点接地抵抗器

サ等がある。現地処理装置はこれらセンサからの信号の変換、平均化など、簡単なデータ処理を行い、光ファイバケーブルで遠隔監視装置まで伝送し、ここでオンラインによる、監視・診断・予測を行う。また別途既存設備により採取した油のガス分析結果を入力・利用することによる、オンライン診断も可能である。

監視・診断・予測はトレンドデータを主体としており、表10に示すような機能を持っている。本装置の主な特長は、

- ・新しい非接触センサの採用  
自己診断機能付き 4.5 MHz 部分放電センサ、遠隔起動・停止のできる油中ガスセンサ、LTC駆動モータ電流2乗及び駆動軸トルクセンサ、tanδセンサ等。
- ・時系列管理  
平常時の予測保全及び異常時の管理を時系列に行うことができる。
- ・自己診断機能  
現地処理装置は定期的或は任意の自己診断機能を持っており、装置異常の早期発見ができる。
- ・設定値の任意変更  
データの更新周期及び要注意・異常レベルの任意変更ができ、各監視項目は最適監視ができる。
- ・重ねトレンドの採用  
検出した4つのデータを自由に組み合わせて、異常判別の確度向上を図っている。

表10 予測保全装置の機能

	更新トレンド	油中ガス分析 1回/10日 その他 30s~30min毎 LTC・補機 動作毎
オンライン	監視トレンド	1日30データ、10年分相当 10年以降は1週間単位で自動圧縮
	予測トレンド	最小2乗法回帰直線予測
	オフライン	1バンク8回分の油中ガス分析データを2バンク分診断

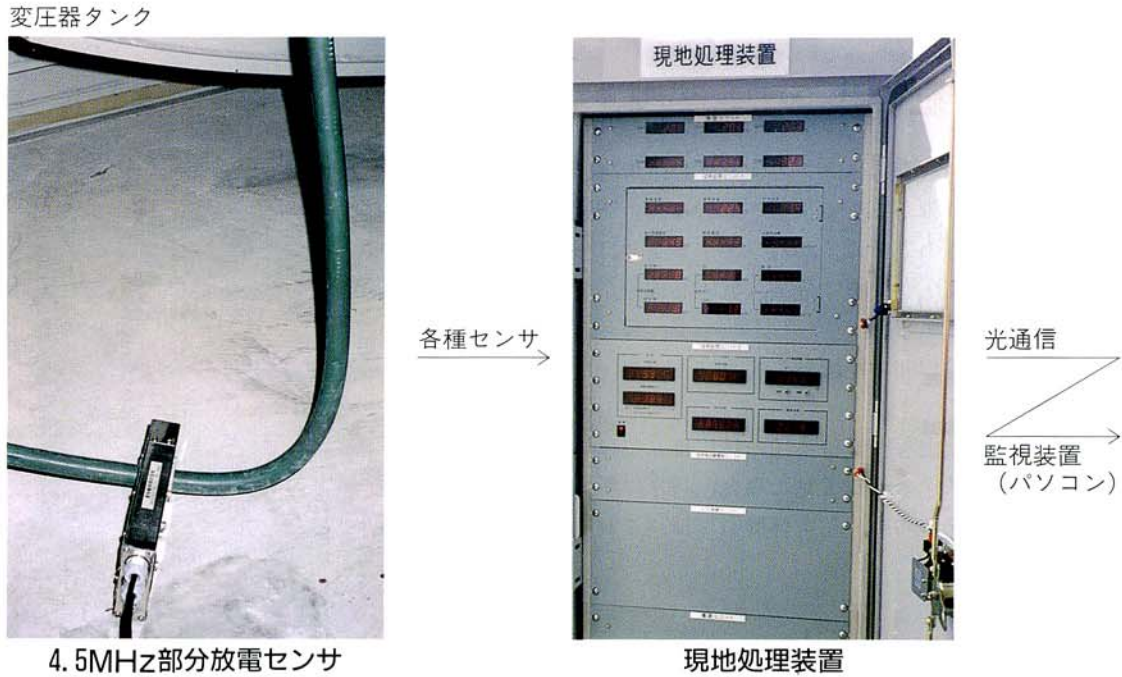


図6 予測保全装置

・異常時の故障種別の判別

異常発生時は、総合監視画面の該当センサをフリッカ表示し、故障種別を判別している。

今後、運転・保守支援機能を有する変電所監視システムが採用される方向にある。本装置は変圧器に対応するシステムとして開発したものであるが、更に次世代変電所に対応した、予測保全技術の確立を期して開発を進めている。

## 7 液体窒素冷却変圧器・超電導変圧器

超電導現象は1911年（明治44年）オランダのカマリンオンネスにより発見されて以来、多くの研究開発が進められている。電力用機器の分野においても、超電導発電機、超電導エネルギー貯蔵装置（SMES）、超電導変圧器、超電導ケーブル等において、数多くの成果が発表されている。

更に1986年（昭和61年）IBM チューリッヒ研究所のミュラー、ベドノルツにより、従来の金属合金材料より高温で超電導となる、酸化物超電導材料が発見されるにおよんで、この研究も一気に加速された感がある。

### 7.1 液体窒素冷却変圧器

当社においても上記のような情勢に鑑み、先ず低温技術の確立を図るべく、昭和62年より名古屋大学と共同にて、液体窒素による冷却の研究を開始した。

この中で、液体窒素冷却変圧器巻線の通電特性、エポキシ樹脂の低温時特性、エポキシ樹脂モールド絶縁・内

部冷却変圧器の冷却特性等の研究を行った。この内部冷却変圧器と言うのは、低圧巻線に中空導体を使用し、その中に液体窒素を流すことによって、高圧巻線までも冷却する方式で、その結果、効果的な冷却方式を開発することができた。

これらの結果は、将来液体窒素温度の超電導線材が開発された時点においては、有効に生かされることであろう。

### 7.2 超電導変圧器

液体窒素冷却変圧器と並行して、液体ヘリウム冷却超電導変圧器に関しては、NbTi超電導線材を用いた巻線を対象として、試算を行ってきたが、平成4年に再び名古屋大学と共同で1500kVA超電導変圧器を製作した。この変圧器の仕様を表11に示す。

表11 超電導変圧器の仕様

相数	1
周波数 Hz	60
定格容量 kVA	1500
定格電圧 V	6000/3000
リアクタンス %	15.7（設計値）
寸法 mm	472×472×607
重量 kg	192

本器は次世代の大容量、高信頼度の電気エネルギー伝送方式の一つとしての、超電導送電システムを検証するため、超電導限流器、超電導ケーブルと組み合わせたモデルの一要素として構成されるものである。

本器の鉄心は、巻線と共に液体ヘリウム中に直接浸漬

する方式としたので、液体ヘリウム温度における鉄損増加を極力抑えるため、磁区制御電磁鋼帯を採用した。これによって通常のけい素鋼帯に比べ約15%の鉄損低減を図ることができる。

巻線に使用される超電導線は、フィラメント径 $0.744\mu\text{m}$ のNbTi線、23749本からなる素線をCuNi線の周囲に6本撚り合わせたものである。漏れリアクタンスは極力小さくするため、高圧巻線を3分割、低圧巻線を2分割し、交互配置としている。

また、高圧・低圧巻線間の絶縁としてカプトンフィルム3枚を挿入している。

現状では、電力用超電導機器は実用の域に達してはいないが、トータルシステムとして見た場合、将来は電力系統に超電導変圧器を含めた、超電導機器が採用されるようになるであろう。

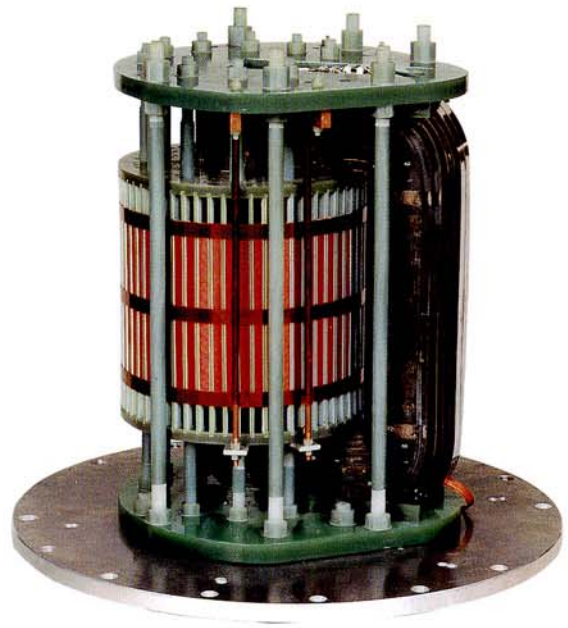


図7 超電導変圧器 (1 $\phi$ 6/3kV 1500kVA)