

高電圧・大容量変圧器の技術動向

Recent Technologies for Large Capacity Transformers

電力用変圧器に対する要望は、電力系統の高電圧・大容量化や社会環境・経済環境の変化に応じて多種多様なものとなる。これにこたえるため、日立製作所では工場、研究所が一体となり、絶えず新製品・新技術の開発に努力している。これらの成果として、故障電流の抑制、三次調相設備の高効率運用を目的とした高インピーダンスの三次電圧調整装置付き500 kV変圧器を開発したのをはじめとし、ガス絶縁開閉装置と組み合わせて防災変電所実現を目指す不燃変圧器、将来の高効率・小形化を達成する誘電率整合絶縁、長年運転した変圧器の寿命診断などの新製品・新技術を開発している。

和田 守 兄* *Moriyoshi Wada*
川嶋啓三郎* *Keizaburô Kawashima*
藤田 裕 幸* *Hiroyuki Fujita*
森 悦 紀* *Etsunori Mori*

1 緒 言

電力系統の高電圧・大容量化が進んだ現在、電力用変圧器に対しては高度の信頼性はもとより、その時々为社会環境や経済環境の変化に応じた種々の要望が出される。

日立製作所ではこれらの要求にこたえ、UHV絶縁技術を応用した500 kV変圧器の並列巻線数の低減による省エネルギー変圧器、高効率遮音板を適用した小形・低騒音変圧器を実現してきた。

今回、高度に発達した500 kV系統での故障電流の抑制、系統運用に有効な高インピーダンス新形変圧器を完成した。また、ガス絶縁開閉装置との組合せによって、油なし防災変電所が実現できる電力用大容量不燃変圧器や油に近い誘電率を持つ低誘電率材料を使用して、変圧器のいっそうの小形化・高効率化を目指す誘電率整合絶縁技術を開発している。また、超高压変圧器が導入稼動してから既に30年が経過している。これら初期の超高压変圧器を、適切な時期に最新の高効率変圧器にリプレースすることは、電力系統の信頼性確保及び高効率運用上重要な課題となっており、これを判定する寿命診断技術を確立している。本稿では、これら最新技術についてその要点を紹介する。

2 高インピーダンス500 kV変圧器

系統容量の増大に伴い事故時の故障電流が増加し、それに伴う通信障害対策費が膨大なものとなる。それを回避する一手段として変圧器のインピーダンスを大きくし、故障電流を抑制する方法がある。東京電力株式会社は500 kV新京葉変電所に設置される500 kV、1,500 MVA変圧器に上記手法を取り入れるべく昭和61年から検討を開始された。

日立製作所では上記ニーズにこたえるため、ハード上の各種の技術課題の摘出、その対応策について最新の解析技術を駆使しながら検討し、実器製作に先行した試作器による信頼

性検証を実施し、このたび新形高インピーダンス500 kV変圧器を完成した。本変圧器の主な仕様を表1に、この仕様に対する技術的課題とその対応策を図1に示す。主な課題は増加した漏れ磁束による漂遊損増加の抑制、局部過熱の防止、三次電圧調整装置の設置などである。絶縁の信頼性はUHV変圧器用として開発し、その後の500 kV変圧器に広く適用され、運転実績のあるハイブリッド絶縁技術¹⁾を適用することによって確保した。

2.1 漂遊損増加抑制と局部過熱防止対策

変圧器の体格を鉄道輸送限界内に収め、インピーダンスを増加させるには、巻線の巻回数を増やし漏れ磁束密度を高め

表1 高インピーダンス500 kV変圧器の主な仕様 インピーダンスが従来の14%から23%に、タップ幅が従来の±5%から±7.5%にそれぞれ増加されるとともに、三次に電圧調整装置を設置する。

項 目		仕 様
1. 形 式		屋外用送油風冷式、 単相単巻変圧器
2. 容 量	一 次	1,500/ 3 MVA
	二 次	1,500/ 3 MVA
	三 次	450/ 3 MVA
3. 電 圧	一 次	500/√3 kV
	二 次	275/√3 kV
	三 次	63kV
4. タ ッ プ 範 囲 (一次側)		±7.5%(従来±5%)
5. インピーダンス	一次～二次	23%(従来 14%)
6. 騒 音		65ホン
7. そ の 他		三次電圧調整装置付き

* 日立製作所国分工場

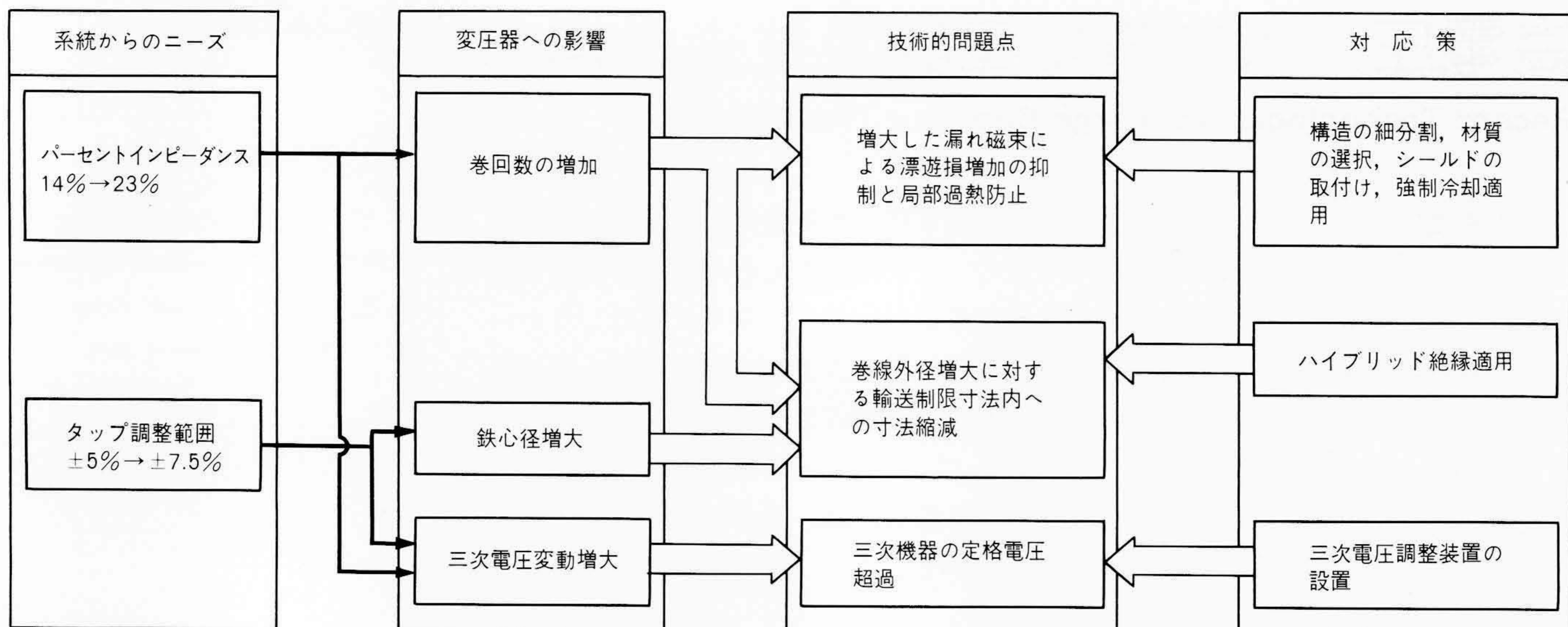


図1 500 kV高インピーダンス変圧器の技術的課題と対応策 インピーダンス, タップ調整範囲の変更によって, 局部過熱防止, 三次電圧調整装置の設置などの対応が必要となる。

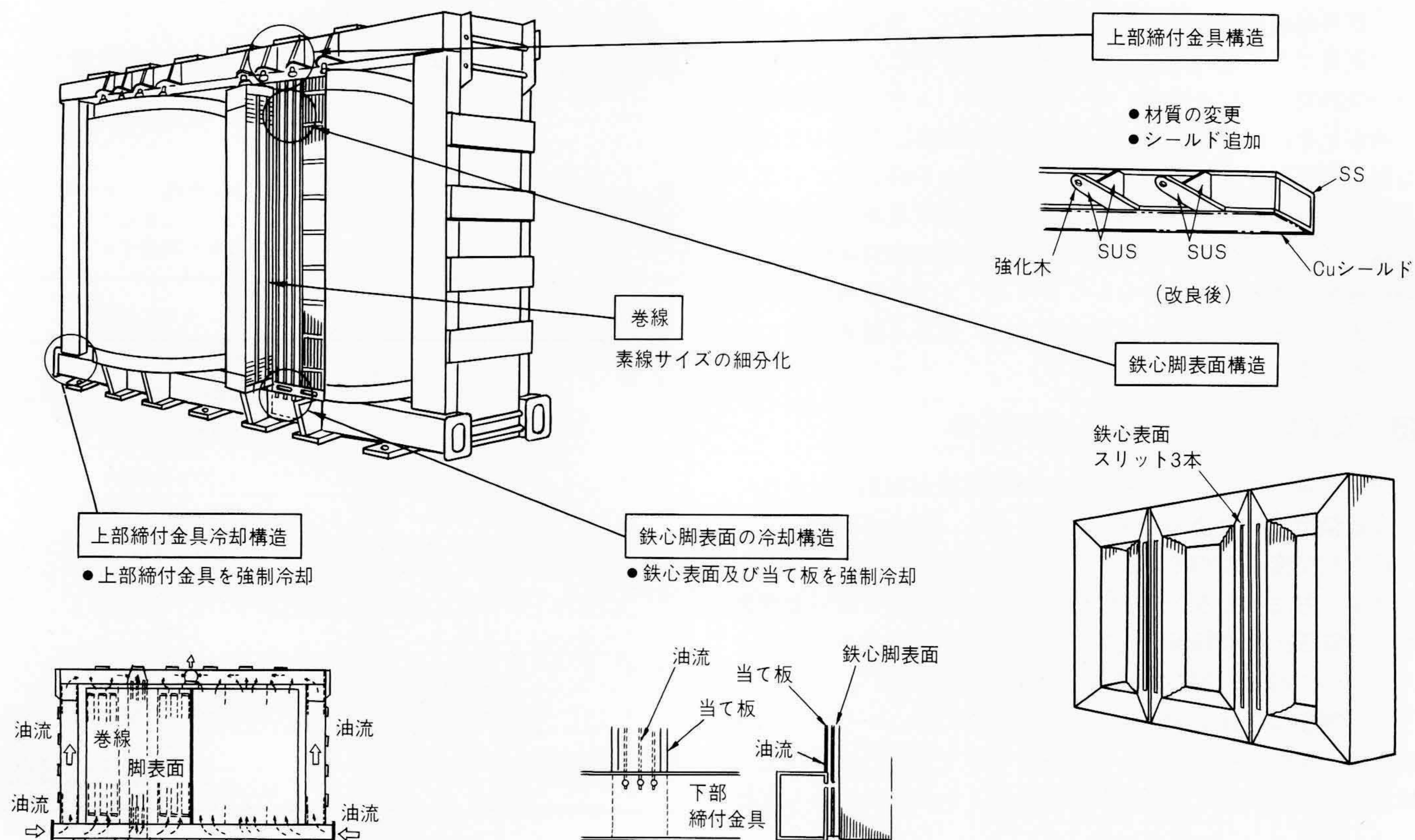
るが, この高漏れ磁束密度化により巻線, 内部構造物, タンクなどに渦電流によって発生する漂遊損が増加し, 局部過熱や損失増加などの問題が生じる。これらの問題発生を防止するために, 図2に示す各種の対策を実施した。

(1) 巻線

高インピーダンス化は, 外部短絡時の故障電流を抑制する

ため, 巻線に発生する機械力が小さいため, 巻線に要求される短絡強度は従来より小さくてよいことになり, 細い素線の転位電線を使うことが可能となるが, 分路巻線には自己融着性の転位電線(ハイボン線)を使用し, 更に細い素線とし巻線内漂遊損を従来器並みとした。

(2) 中身金具



注: 略語説明 SS (鋼材), SUS (非磁性材)

図2 局部過熱防止対策 材質の選択, シールドの適用, 強制冷却の採用などによって局部過熱の防止を図っている。

鉄心締付金具などの中身金具については、詳細磁界解析による非磁性材の部分的使用、シールドの取付け及び鉄心表面スリット本数の増加などによって発生損失の増加を防止するとともに、強制冷却部位を鉄心脚表面、上部締付金具へも拡大して局部過熱の防止を図った。

(3) タンク

タンク全面に銅板シールドを溶接し、発生損失を低減した。

2.2 三次負荷時電圧調整装置

三次電圧変動の要因は一次のタップ変更と負荷変動であり、三次電圧は特に一次最高タップで三次調相用コンデンサ接続時が最も高くなる。このため、三次負荷時電圧調整装置は、調相用コンデンサ全容量運転時の三次電圧をコンデンサなどの許容電圧72 kV以下にできるようにしている。

三次電圧の制御としては、電圧変動の要因にかかわらず三次電圧を一定のレンジ内にとどめる方式として、このレンジを越えた場合にだけ負荷時タップ切換器を作動させて、三次電圧をレンジ内に戻す方式とした。

また、三次電圧調整装置は、負荷時タップ切換器の電流切換能力の制限によって間接切換方式とし、調整変圧器、直列変圧器及び負荷時タップ切換器を同一タンク内に収納する方式とした。これらの結線及び配置を図3に示す。

2.3 信頼性検証試験

局部過熱防止対策の効果とその信頼性を確認するため、実器製作に先立ち先行試作器によって検証試験を実施した。また、製作途中で鉄心単独の励磁試験、巻線の電位分布測定なども実施して総合的な信頼性の検証を行った。

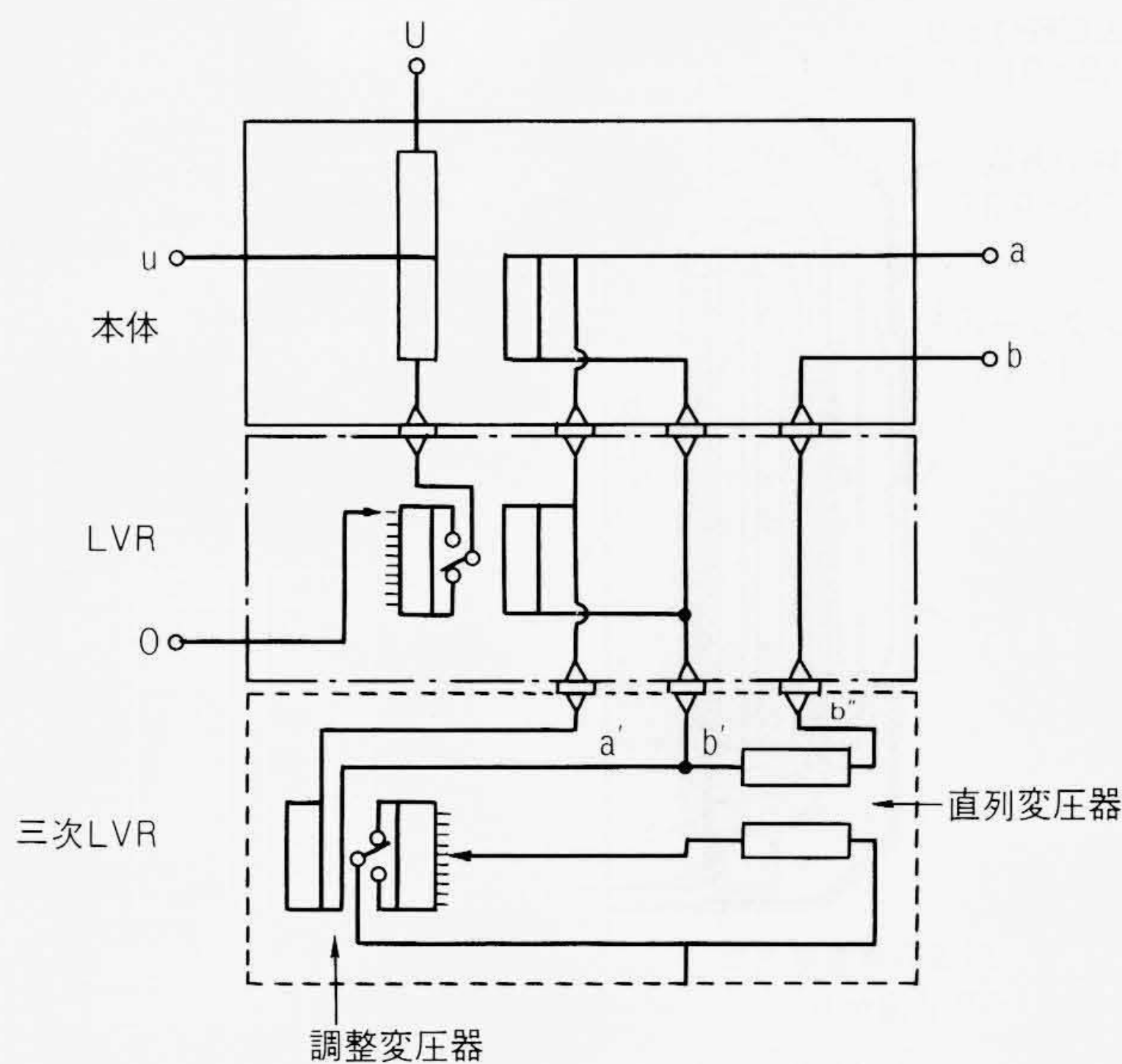
(1) 気中中身予備試験

最終組立て後の試験はタンク内の油中で実施されることから、温度上昇など測定できる範囲、点数については大きな制約を受ける。したがって、油中での温度上昇測定位置については、事前の詳細な解析や類似器の試験結果の分析などによって、発生損失が大きく、温度が高くなると想定される部位とし、その他の部位については異常な損失発生がないことを確認するため気中中身予備試験を実施した。

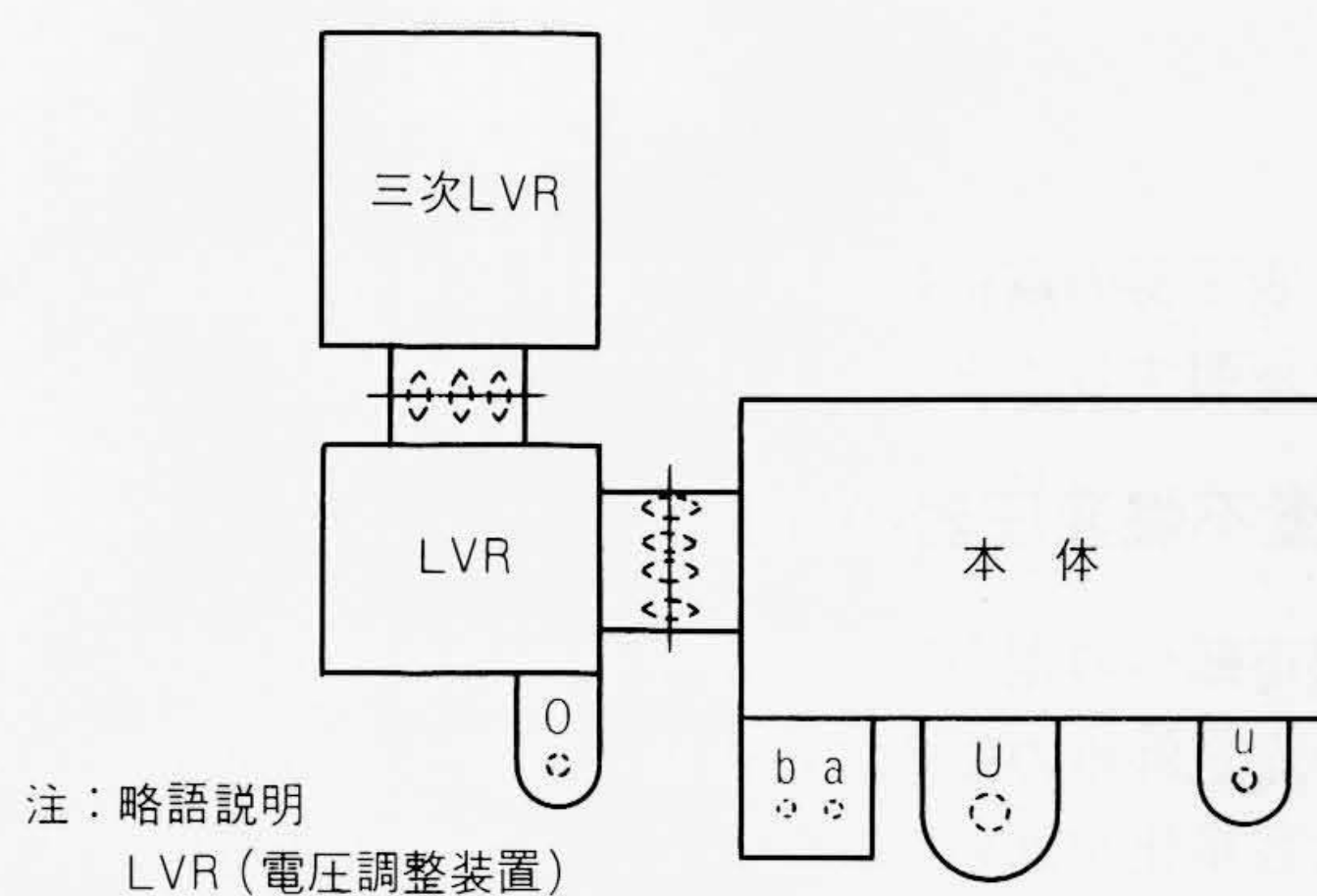
これは中身完成の状態で、空調室内で定格の20%電流を通じ、赤外線カメラを用いたサーモビュアにより過渡温度上昇を測定することによって異常な損失発生の有無を判別するものである。測定試験の方法とその結果を図4に示すが、発生損失は計算値と一致し、異常な損失発生は見受けられなかった。また、サーモカップルによる測定値とサーモビュアによるものとはよく一致していた。

(2) 組立て完成後の油中試験結果

組立て完成後、定格の110%電流通電によるヒートラン試験を実施して、各部に取り付けたサーモカップルによって温度上昇を測定した。図5は巻線内30箇所、鉄心締付金具15箇所、鉄心表面4箇所及びタンクシールド10箇所の測定結果の概要を示したもので、測定値は予測値とよく一致した。また、送油ポンプを停止した測定との比較によって鉄心表面、上部鉄心締付金具などの強制冷却効果も確認した。引き続き110%電流で48時間のヒートラン試験を行い、その前後の油中ガス分析、試験終了後の解体細密点検などによって異常のないこと



(a) 回路図



(b) 配置図

図3 高インピーダンス500 kV変圧器の回路図と配置図 三次電圧調整装置は調整変圧器と直列変圧器の2台で構成され、これらが負荷時タップ切換器とともに一つのタンク内に収納されている。

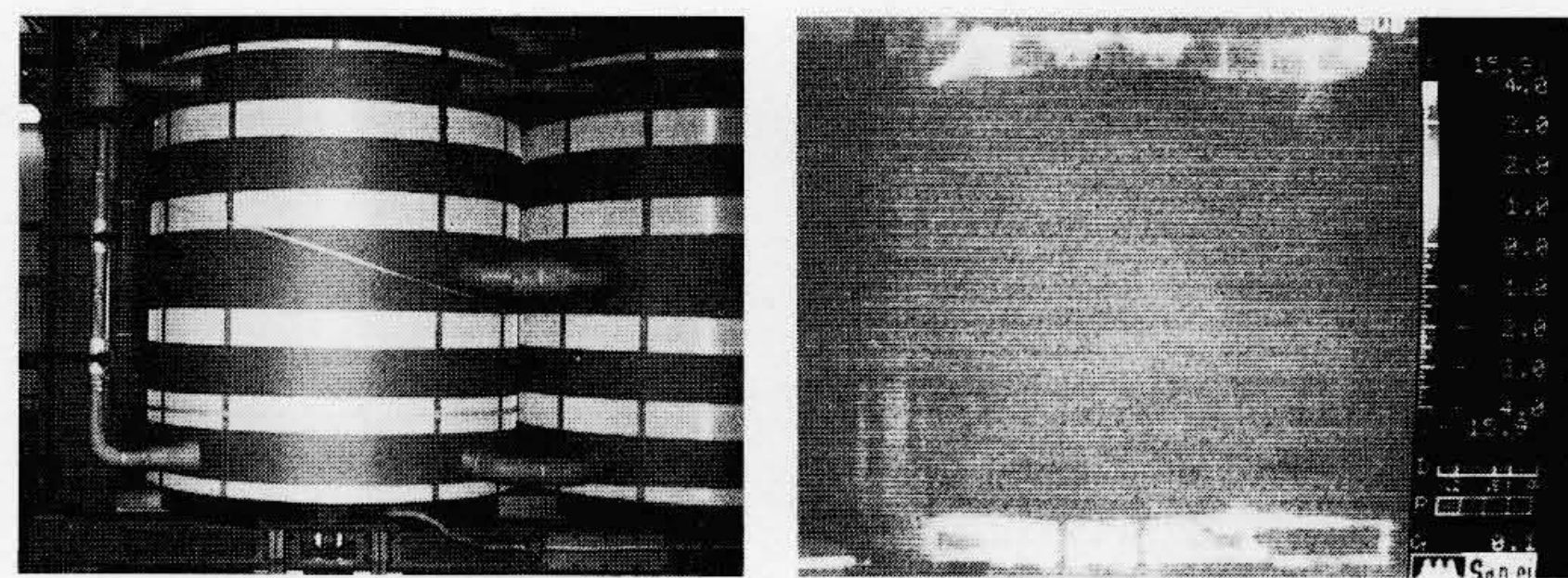
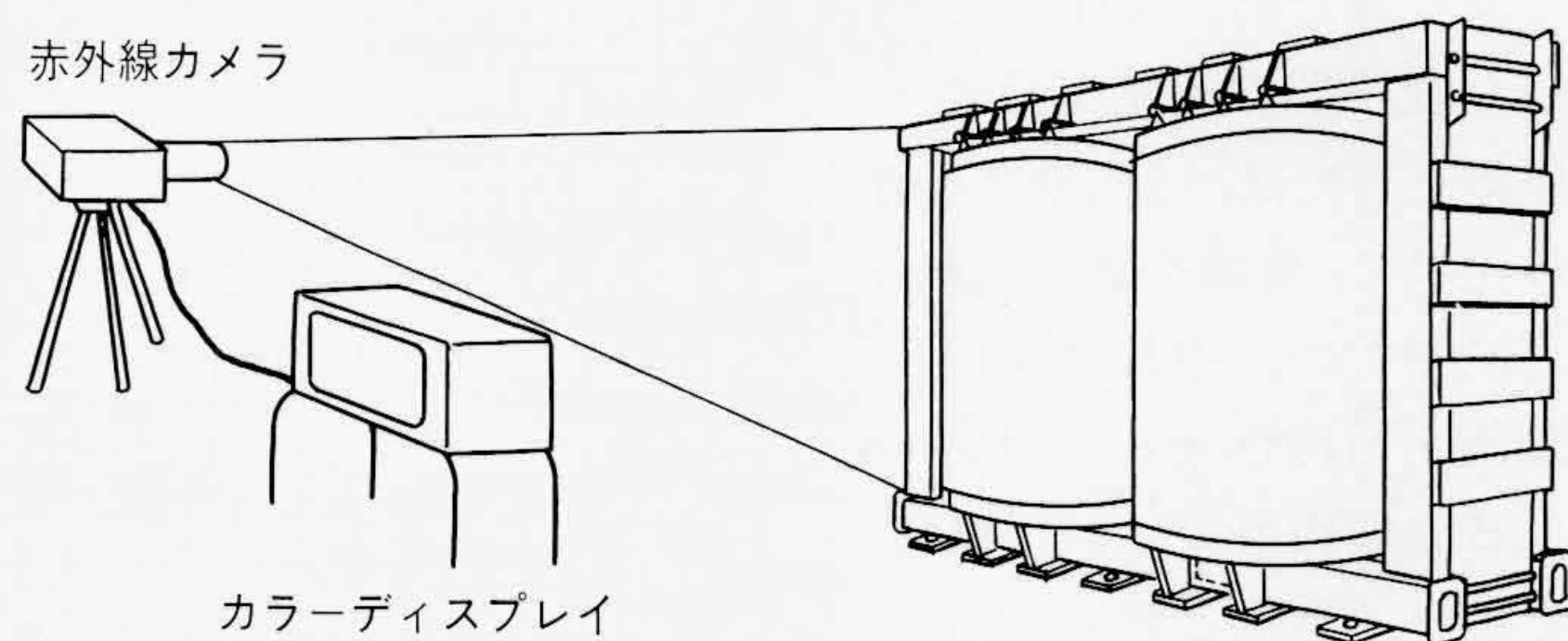


図4 気中中身予備試験結果 気中で110%電流を5分間通電して測定し、サーモビュアは温度上昇を輝度で表示する。試験の結果、異常な損失発生のないことを確認した。

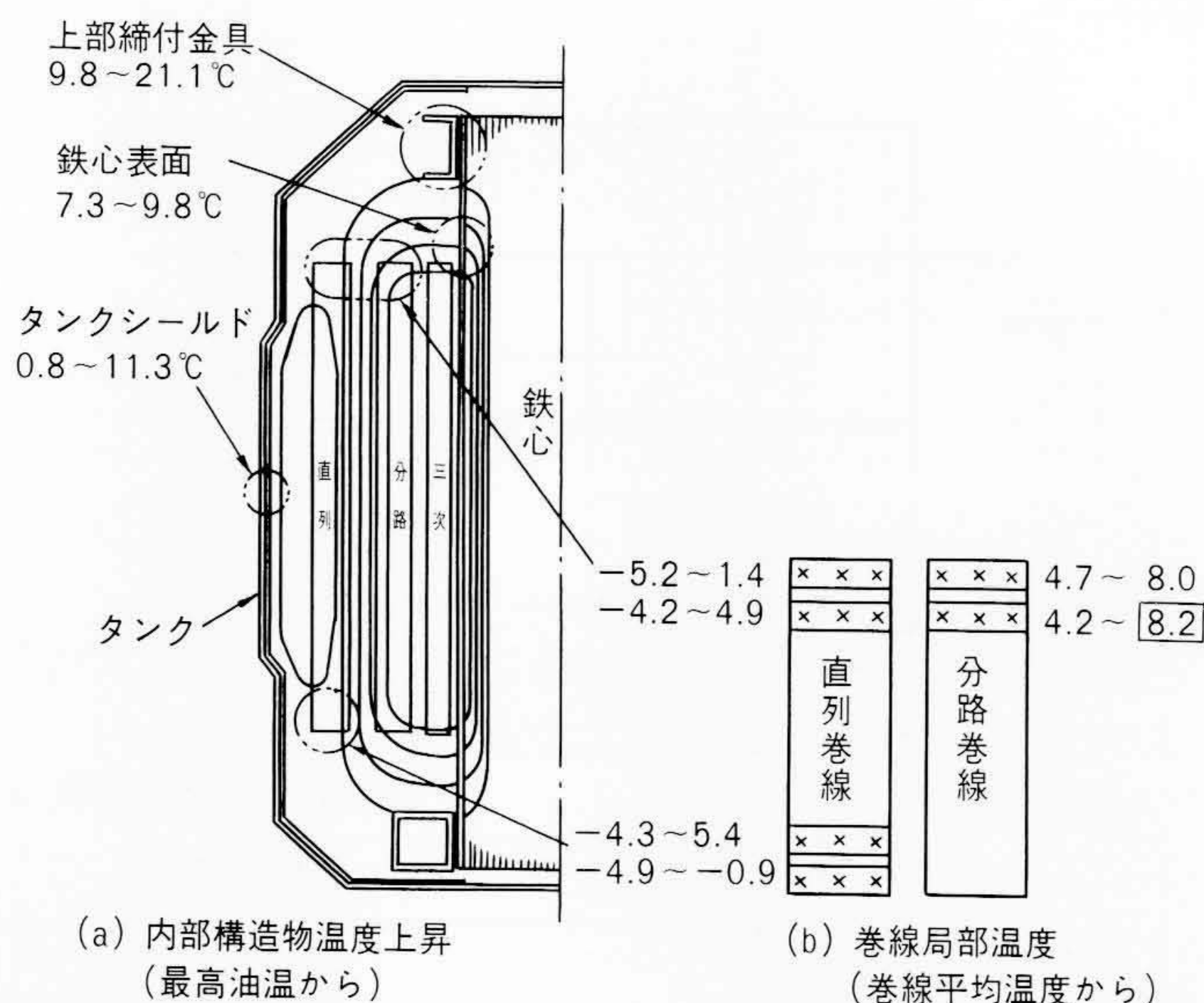


図5 油中試験結果 試験後の油中ガス分析, 解体点検でも異常は見られず対策の効果が確認できた。

を確認し、変圧器の高信頼性及び局部過熱対策の効果と解析の妥当性を証明することができた。

3 大容量不燃変圧器の開発

近年、都市部への電力需要の集中がますます進む傾向にあり、電力の安定供給のために市街地に設置される変電所は高電圧化、大容量化が進められている。これらの変電所では狭い用地及び住宅地域に近接して設置するため、変電所全体の縮小化とともに都市防災の面から変圧器の不燃化が要望されている。

これに対し中・小容量の変圧器では、既に油入変圧器に代えてSF₆ガス絶縁変圧器が開発、実用化されているが、大容量変圧器では冷却性能上から従来のSF₆ガス絶縁方式では対処できないため、変圧器油に代わる新しい不燃性冷却媒体を用いた変圧器の開発が必要である。不燃性冷却媒体を用いた変圧器としては、SF₆ガスを充満した状態で冷却液をポンプでくみ上げて、巻線や鉄心に散布させる散布方式²⁾や、主絶縁をSF₆ガスで行い、冷却は巻線・鉄心内に設けた冷却ダクト内に冷却液を循環させるセパレート方式³⁾が研究開発されている。

日立製作所では、不燃性冷媒としてパーフルオロカーボンを用い、巻線と鉄心を冷却液の中に浸せきするとともに、タンクに対する対地絶縁をSF₆ガスで行う複合絶縁方式の高電圧・大容量変圧器(不燃変圧器)を、中部電力株式会社と共同開発中である。以下に、不燃変圧器の概要と開発状況について述べる。

3.1 不燃変圧器の構造

不燃性冷却媒体であるパーフルオロカーボンはC₈F₁₆Oを主成分とするフッ素系不活性液体である。不燃であるほか物理的・電氣的に優れた性質を持っている。特に粘度が極めて低い(常温で変圧器油の約 $\frac{1}{10}$)液体であり、絶縁耐力も常圧で変圧器油と同等である。

不燃変圧器の構造概念図を図6に示す。巻線及び鉄心を絶

縁筒の中に収納し絶縁筒内にはパーフルオロカーボンを満たし、巻線と鉄心を液中に浸せきする。パーフルオロカーボンは、巻線及び鉄心の冷却と絶縁の機能を果たし、外部の冷却器を通じてポンプで循環される。絶縁筒の上部にはセパレータを設け、パーフルオロカーボンとSF₆ガスを分離するとともに液の膨脹収縮に応動するダイヤフラムの役目を果たす。更に、絶縁筒を含む内部構造物はタンクの中に収納され、絶縁筒とタンクとの空間にはタンクに対する対地絶縁のためにゲージ圧343 kPa {3.5 kgf/cm²}に加圧されたSF₆ガスが充てんされる。したがって、パーフルオロカーボン液もセパレータを介してほぼ同圧に保持されている。リード線は絶縁筒を貫通してSF₆ガス空間に引き出される。このような構造の不燃変圧器は、次のような特徴を持っている。

(1) 均一で確実な冷却が可能であること。

冷却液に浸せきして直接液冷却しポンプで循環されるので、必要な冷却液量を確実に送り込むことができ、局部過熱が起こりにくく均一な冷却ができる。

(2) 信頼性の確保が容易であること。

図6からも分かるように、巻線や鉄心など内部主要部の基本構造は油入変圧器と同じなので、従来技術の延長で設計・製作が可能であり信頼性の確保が容易である。

(3) 小形・軽量化が図れること。

巻線、鉄心を冷却液に直接浸せきするため、冷却液の優れた冷却性能及び絶縁性能を活用でき、冷却ダクト寸法や絶縁寸法の縮小が可能となる。また、圧力容器となるタンクも長円形断面構造を開発し、変圧器中身の形状に最も近いタンク形状としたため、前述の寸法縮小とあいまって小形・軽量化が図れる。

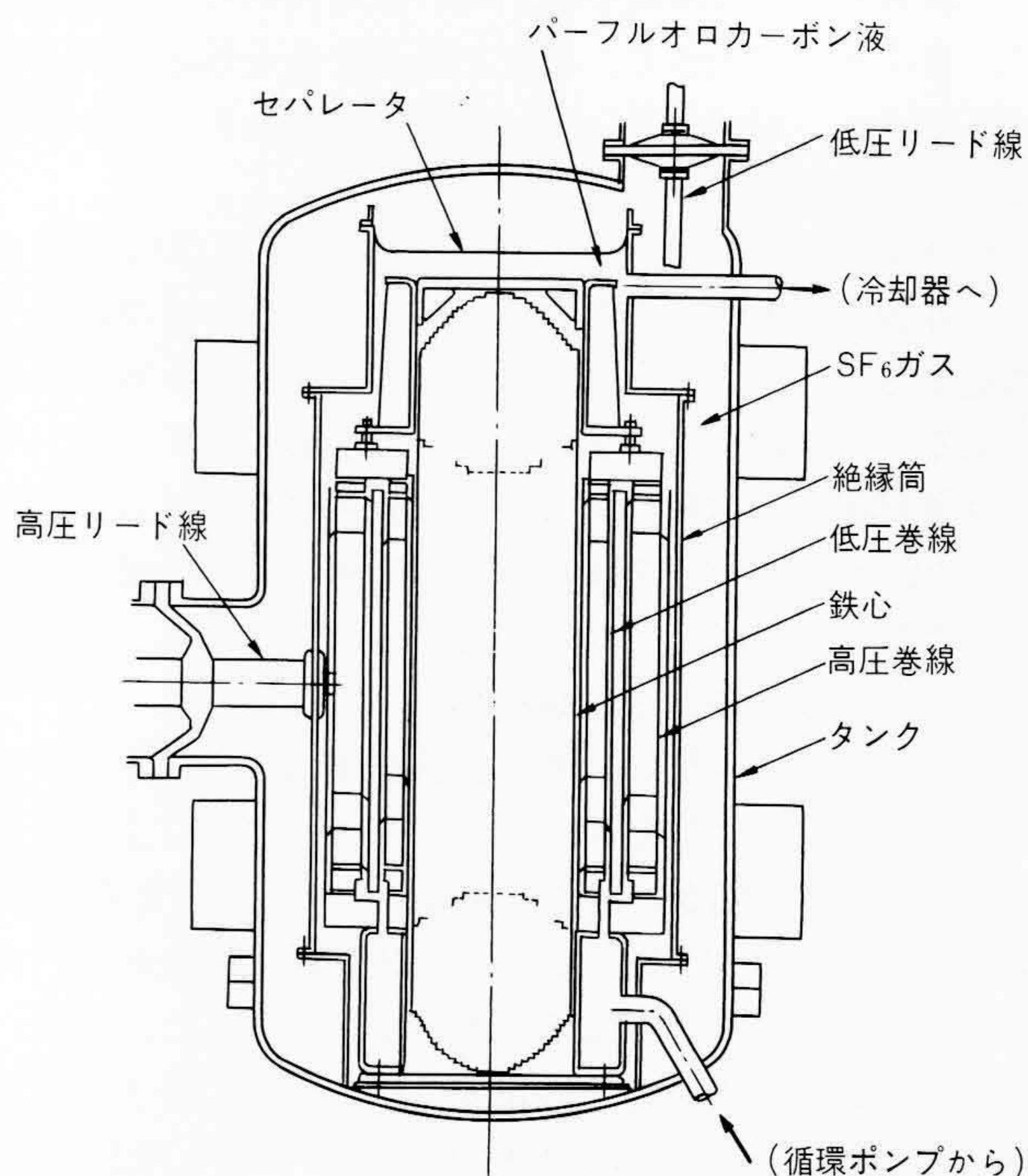


図6 概念構造図 巻線と鉄心をパーフルオロカーボン液中に浸せきし、タンクに対する対地絶縁をSF₆ガスで行う複合絶縁方式である。

(4) 良好な絶縁特性が得られること。

冷却液は同時に絶縁媒体でもあるが、 SF_6 ガスで加圧されているので、その圧力効果により変圧器油以上の絶縁特性が得られ、前述したように絶縁寸法の縮小が可能になる。また、加圧することによって液の沸騰も抑制され(ゲージ圧343 kPa {3.5 kgf/cm²}での沸点は約147℃)、安定した絶縁、冷却特性が得られる。

(5) 騒音が低いこと。

SF_6 ガスの遮音効果により防音性に優れている。外部への振動は、鉄心とタンク間を固定する部分を介して伝達するものが主体になるので騒音は低くなる。

3.2 要素技術の開発

大容量不燃変圧器の開発は昭和61年に着手し、冷却モデル、絶縁モデルなどの実規模要素モデル研究を実施し、パーフルオロカーボンの特性を検討するとともに、冷却方式の選定や具体的な冷却・絶縁構造の検討を進めてきた。

巻線構造を模擬した二次元冷却モデルによる流動・伝熱実験の結果を図7に示すが、コイル間寸法(スペーサ厚さ)を2 mm程度に狭くすることによって、流速分布及びコイルの温度上昇を均一化できるとともに、コイル間寸法を油入変圧器の場合の $\frac{1}{2}$ 程度に縮小できることを検証した。

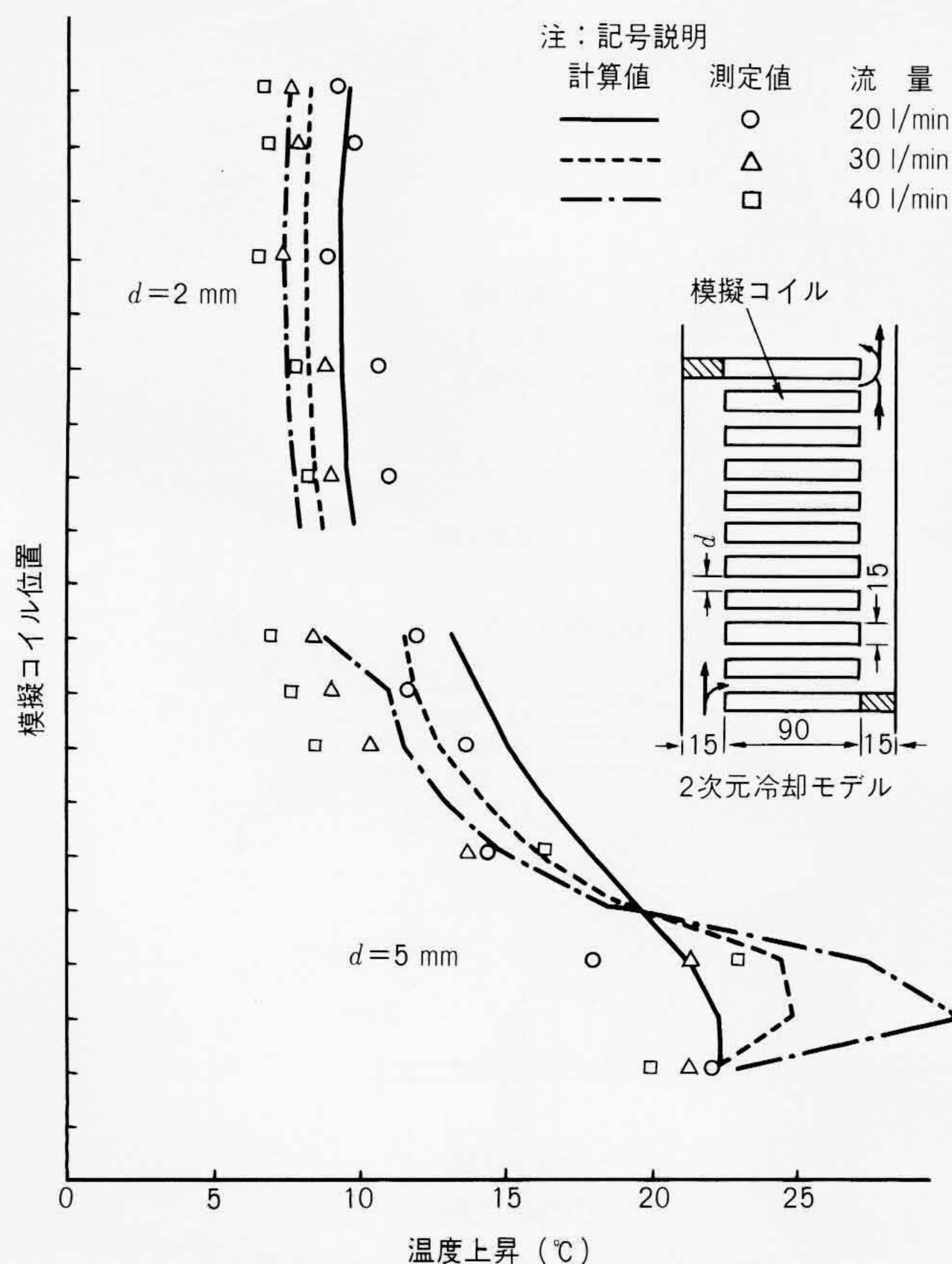


図7 2次元冷却モデルの温度上昇比較 コイル間寸法を2 mm程度に狭くして、温度上昇を均一化できることを検証した。

パーフルオロカーボンの液面圧力と絶縁破壊電圧の関係を図8に示すが⁴⁾、絶対圧力100 kPaで変圧器油とほぼ同等で圧力の上昇とともに絶縁破壊電圧は上昇し、300 kPaでは変圧器油の約1.3倍程度になる。コイル間のような複合絶縁系での絶縁性能は油入変圧器並み以上に向上できると言える。また、パーフルオロカーボン中で使用する個々の材料について、液中での加速劣化試験を実施してその適合性を確認し、ポリアミド紙を基本材料とした。更に、新材料も含めた多種類の材料を実使用比率を考慮して容器に入れ、140~180℃で7~240日間の加熱を行った後、材料特性や液の絶縁特性などを測定した結果、各特性に大きな変化がなく十分な適合性を持っていることを確認している。これらの変圧器内部の要素モデル研究と並行して、パーフルオロカーボンに適合する循環ポンプや冷却器を試作し、耐久性試験を実施して信頼性の検証も進めてきた。

3.3 実規模不燃変圧器の試作

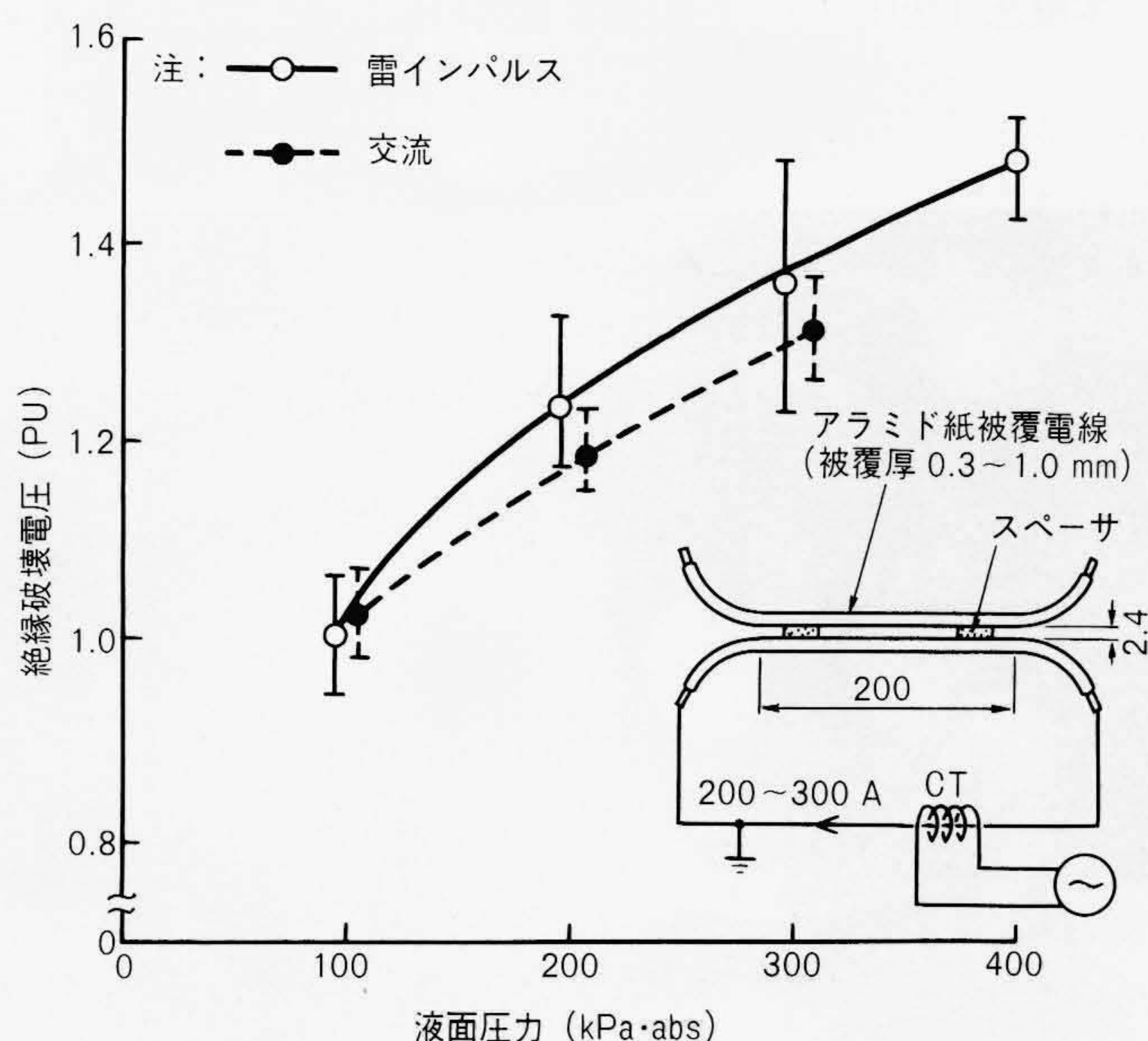
前述の要素研究の成果をもとに実規模不燃変圧器を試作することとし、開発目標を275 kV, 100 MVA三相変圧器に設定した。表2に主な仕様を示す。昭和63年上期には性能検証試験を終え、その後工場で長期課電試験を実施して信頼性を検証する予定である。図9に実規模試作器のタンクを示す。

変圧器本体の試作と並行して安全性の確保、保護・異常診断手法の開発、大容量不燃変圧器に適した負荷時タップ切換器の開発などを進めており、昭和64年度までに大容量不燃変圧器の実用化の見通しを得る予定である。

4 誘電率整合絶縁

4.1 概要及び開発の経緯

油入変圧器では、従来から油とパルプ繊維から成る複合絶



注：略語説明 CT (変流器)

図8 絶縁破壊電圧の液面圧力依存性 変圧器油の絶縁破壊電圧に対する比率で示しているが、液面圧力の上昇とともに絶縁破壊電圧は上昇し、加圧によって良好な絶縁特性が得られる。

表2 実規模不燃変圧器の仕様 実器を想定した規模(超高压100 MVA三相器)としている。

形 式	屋外用送液風冷式
定 格 容 量	100 MVA
定 格 電 圧	275 kV/33 kV
結 線	△/△
周 波 数	60 Hz
相 数	三 相
イ ン ピ ー ダ ンス	22%
絶 縁 種 別	E 種
ガス圧力(ゲージ圧)	343 kPa {3.5 kgf/cm ² }

縁が使用されており、高い信頼性を持ち、代替となり得る安定した特性を持つ絶縁材料がないことから、長い間変更されることなく使用されている。この油とパルプ繊維から成る複合絶縁系は、絶縁油の誘電率と固体絶縁物である紙(プレスボード)の誘電率の差が大きく(絶縁油の比誘電率2.2に対してプレスボードの比誘電率は約4.7と2倍以上の差がある。)、両者の境界の誘電率の低い油側に電界が集中するという欠点がある。絶縁耐力の低い油側に電界が集中するため、この電界集中部を起点として局部的な部分放電が発生し、これが進展して絶縁破壊に至る。

絶縁油と固体絶縁物の誘電率の差を小さくすることができれば、電界集中を小さくすることができ絶縁系の絶縁耐力を向上させることが可能となる。変圧器の絶縁構成を考えた場合、電界が集中する部位、例えば巻線の端部絶縁、コイル間絶縁、巻線間の主絶縁などに対して、適材適所に低誘電率の固体絶縁材料を適用することによって変圧器全体の絶縁耐力を向上させ、変圧器の小形化を達成することができる。

本概念は変圧器絶縁にとって究極の課題であったが、日立

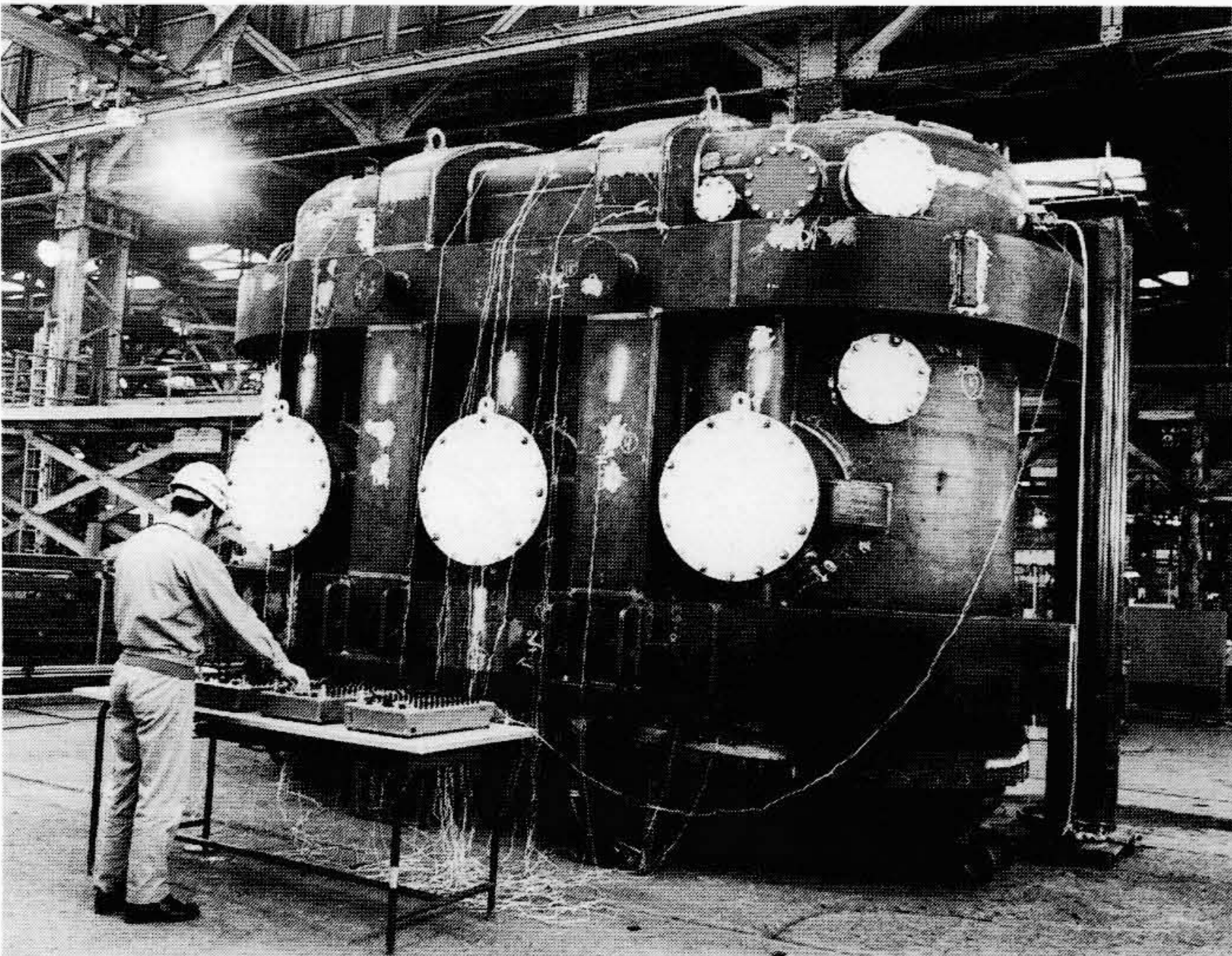


図9 実規模試作不燃変圧器のタンク 圧力容器として、また三相変圧器タンクとして合理的な構造を開発し、最高使用圧力ゲージ圧490 kPa {5 kg/cm²}を検証した。

製作所は、上記低誘電率絶縁材料について三菱製紙株式会社と共同研究を進め、新しい素材と木材パルプを新しい概念の下に複合化した材料を用いることによって、それが実現可能であることを見いだした。現在、これを用いた上記誘電率整合絶縁技術を開発中である。以下、その概要について述べる。

4.2 モデル実験による効果確認

(1) 単純モデルによる実験

固体絶縁物の低誘電率化の効果を検証するため、クラフト絶縁電線2本の上に低誘電率スペーサを挟んだ単純なモデルを使って実験を行ったところ、明らかに低誘電率化したことによる電界緩和効果によって絶縁耐力が向上することが確認された。スペーサの誘電率と絶縁破壊電圧の関係を図10に示す。

(2) コイル間モデルによる実験

実際の変圧器のコイル間絶縁を模擬するため、10個のコイルで構成されたモデルコイルを試作した。低誘電率絶縁物としては、低誘電率プラスチック繊維とパルプを複合化し比誘電率を油の約1.5倍程度まで低減したプレスボードを試作し使用した。従来のプレスボードを使用した全く同一寸法のモデルについても、インパルス破壊試験を実施して比較したとこ

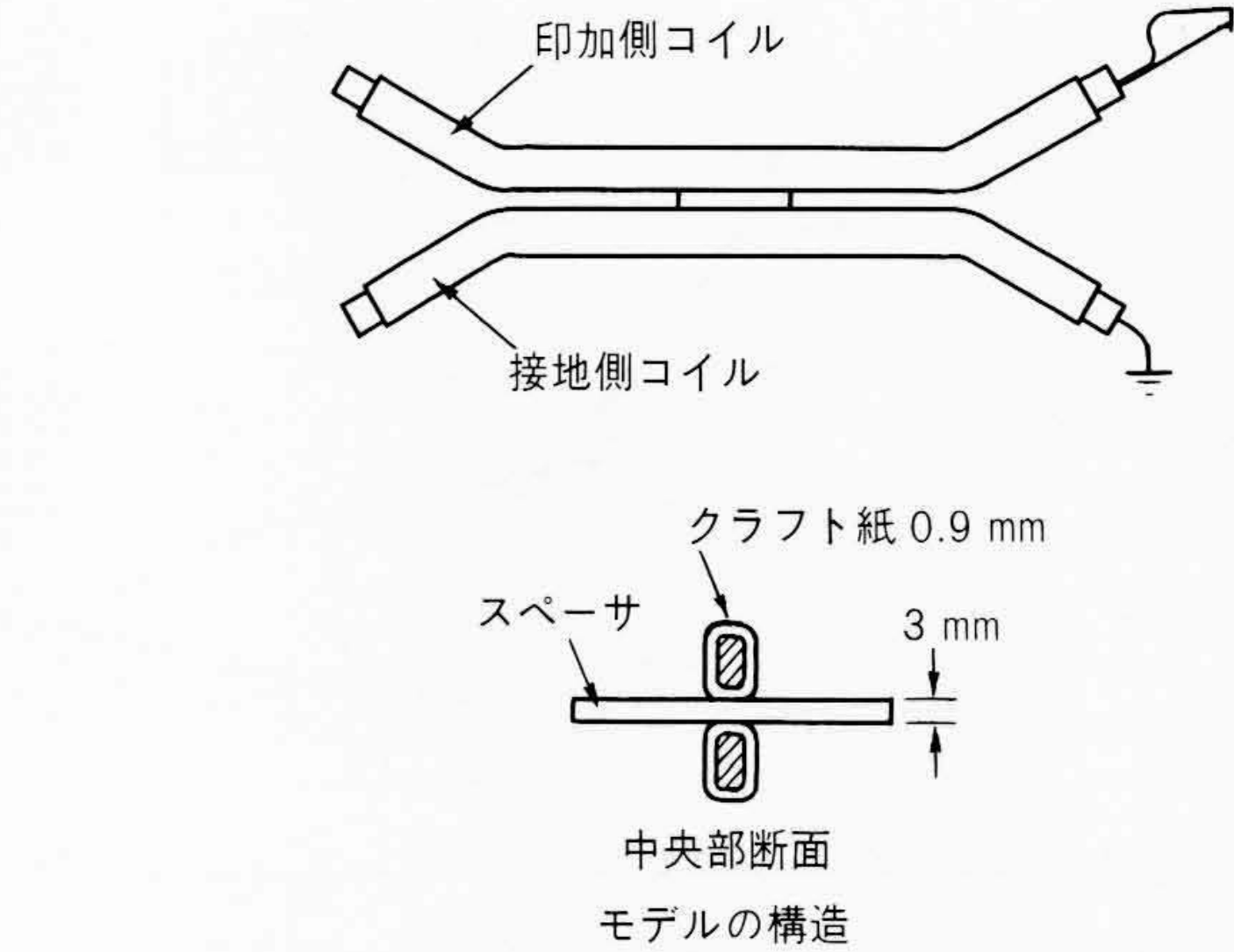
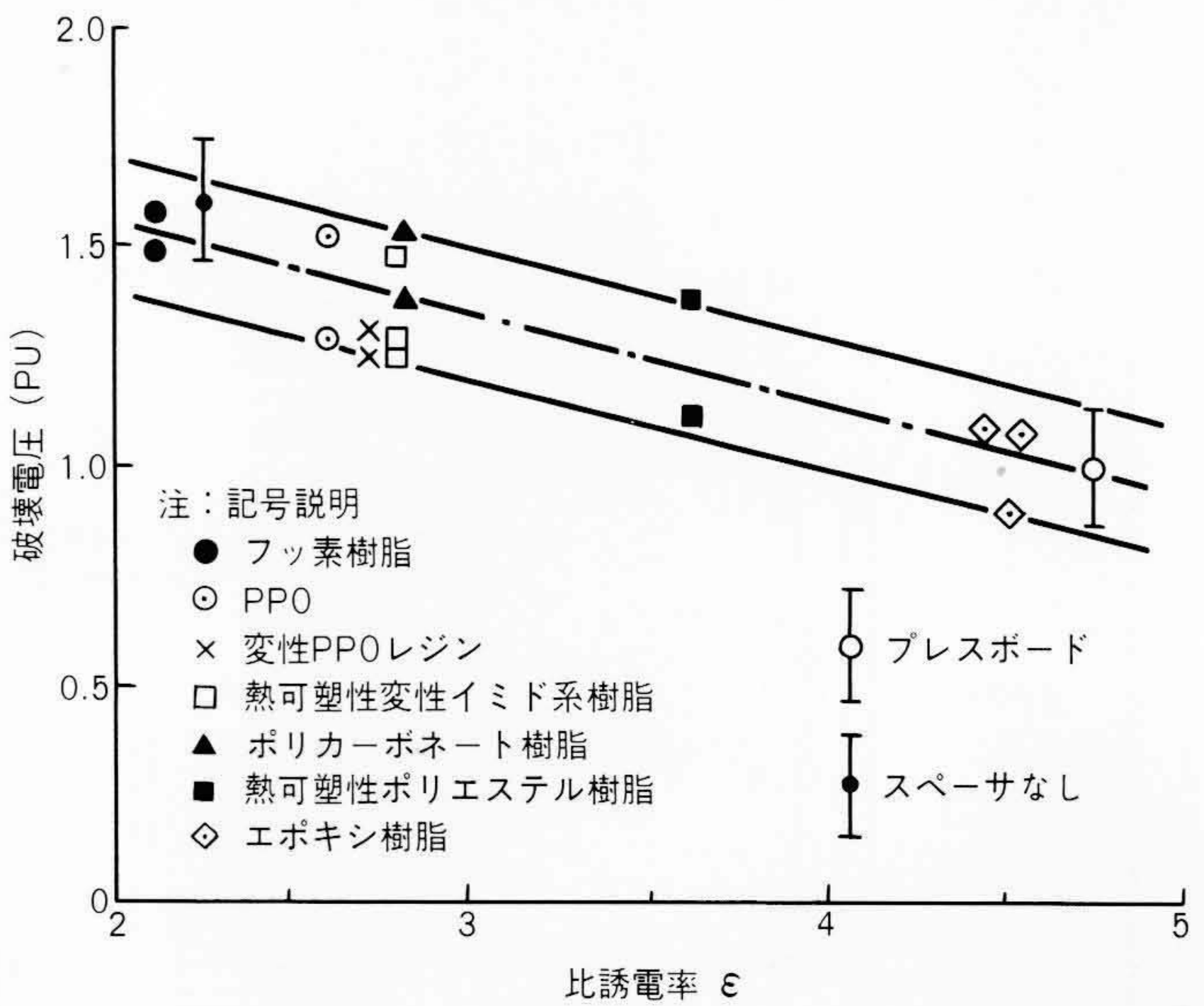


図10 スペーサの低誘電率化によるコイル間耐電圧向上効果 スペーサの比誘電率を変えて破壊試験を実施した。スペーサの比誘電率を小さくすると破壊電圧が向上する。

ろ約30%絶縁破壊電圧が向上するという結果が得られた。モデルの外観を図11に示す。

(3) 今後の動向

誘電率整合絶縁は次世代の絶縁技術として画期的なものであり、早期実用化を図っていく考えである。この新材料である低誘電率絶縁物については信頼性の確保を最重点に置き、材料特性や寿命などについて慎重、ち密な検討を行っていく予定である。

5 寿命診断

変圧器故障のパターンは、異常診断手法として有効な油中ガス分析技術から図12に示すように分類される。この中でパターン③は経年劣化様相を呈するもので、最近、25～30年運転経過している変圧器が増加する傾向にあるため、これらのパターン③を呈する変圧器が今後何年間ぐらい正常運転可能かの診断をする時期になっている。そこで、最近、日立製作所で開発した絶縁紙の経年劣化による変圧器の寿命診断手法の概要について述べる。

5.1 絶縁材料の劣化からの予測

変圧器の経年劣化による寿命は、使用されている材料が変圧器の運転継続に耐えられるかどうかで決まる。変圧器の使用材料は、大別して(1)銅、アルミニウムなどのような導電材料、(2)ケイ素鋼板、(3)鉄、ステンレス鋼などのような構造材料、(4)絶縁油、絶縁紙、プレスボードなどのような絶縁材料である。ここで、20～30年使用した実際の変圧器について調査した結果では、絶縁油の絶縁破壊電圧の低下は10%以内、絶縁紙、プレスボードなどの油浸材料でもその低下は10～20%にとどまっているので、電気的にはこれら絶縁材料の経年劣化は変圧器の運転継続に支障はない。

一方、絶縁紙、プレスボードなどのセルロース材料の機械的強度は変圧器の運転年数に従って低下する。一般に、30年運転した変圧器の巻線に巻かれている絶縁紙の引張り強さは初期値の40～60%に、平均重合度は初期値の40～65%に低下する。しかし、これらがどれだけ低下したら寿命になるかは今まで明確でなかった。日立製作所は、具体的な方法として、巻線に巻かれている絶縁紙は外部短絡時に発生する巻線の機械力に耐える必要があるところから、それに必要な絶縁紙の引張り強さを計算し、その値以下になったときを寿命とする

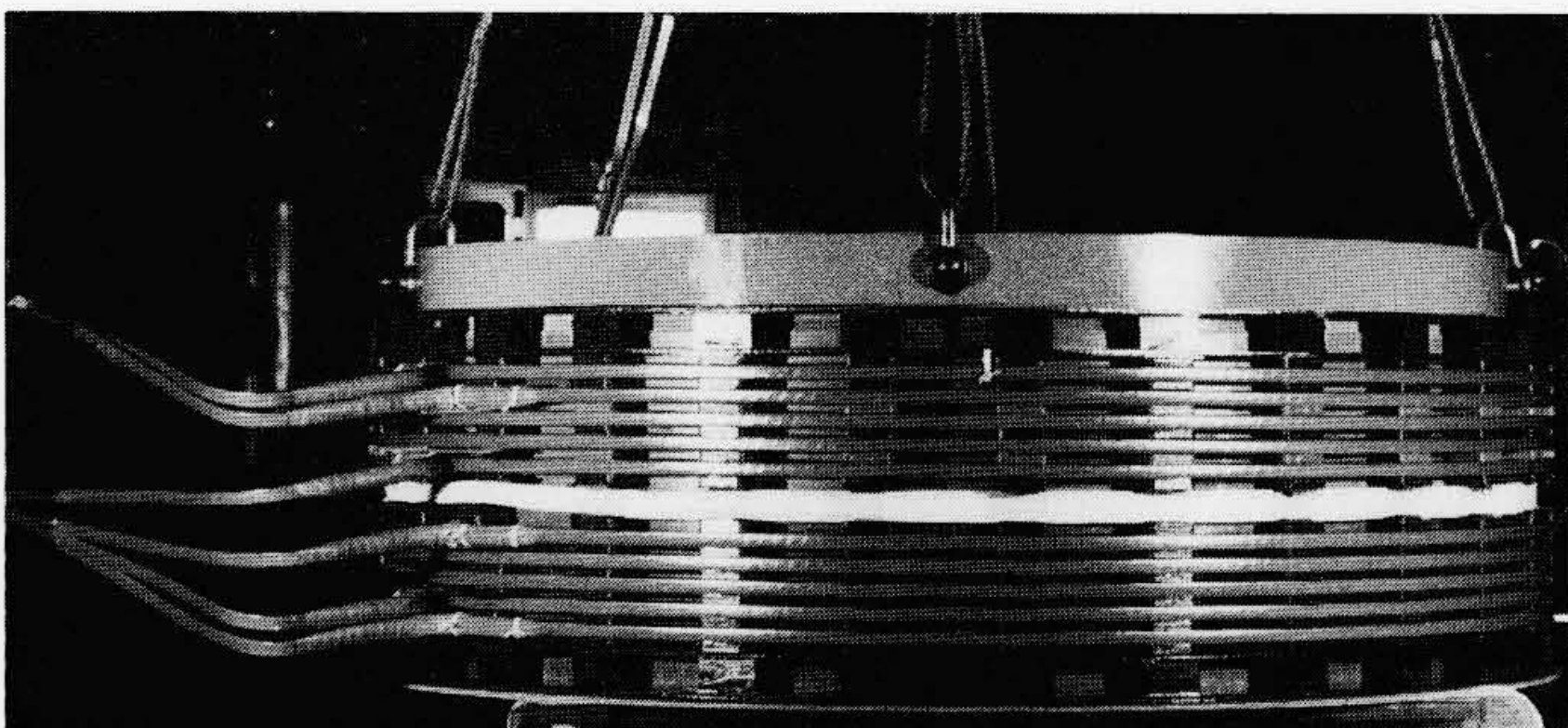


図11 モデルコイルの外観 低誘電率プレスボードを使用したモデルコイルを試作し、インパルス破壊試験を実施した。

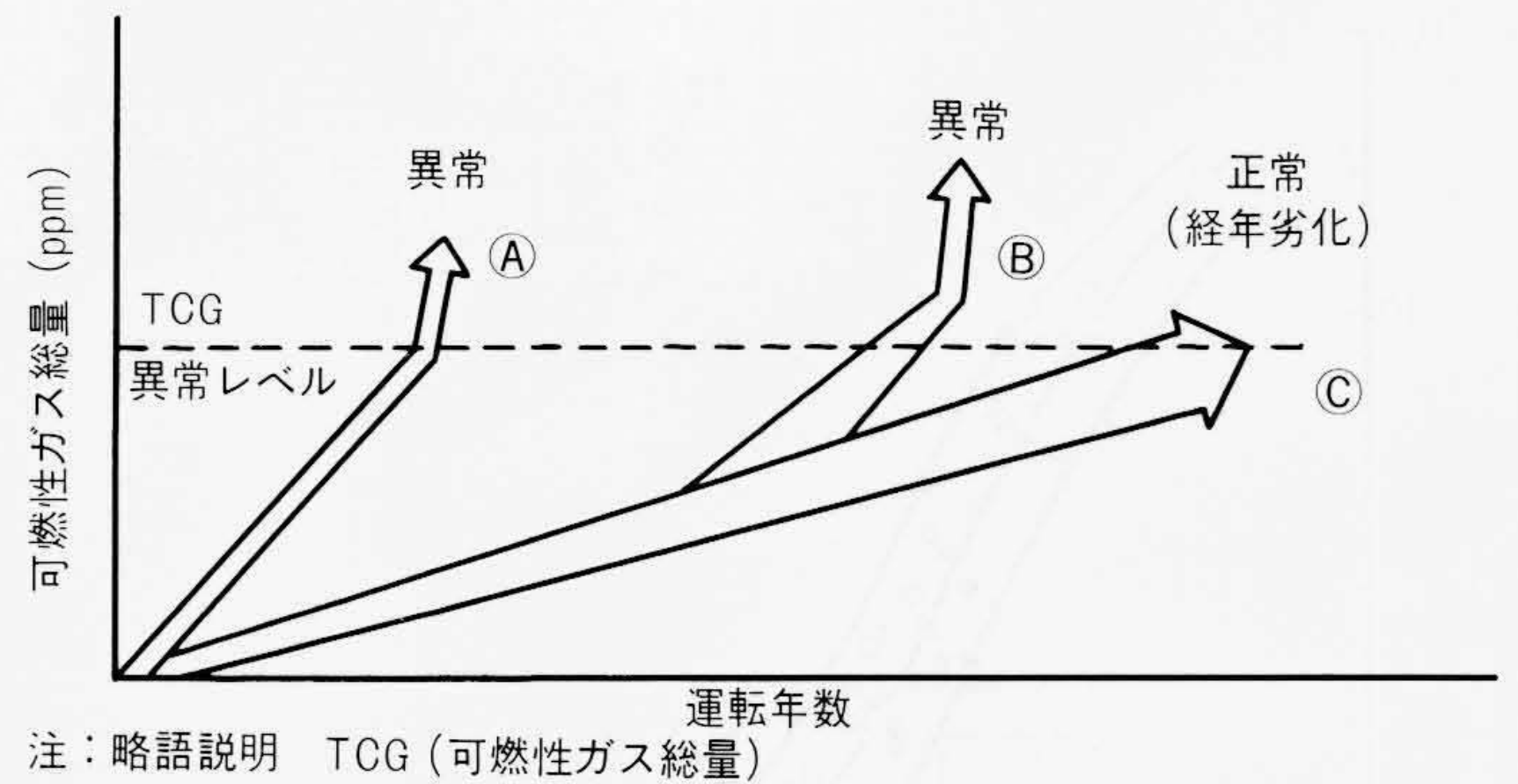


図12 運転年数から見た変圧器故障と油中ガス量のパターン
①は初期故障、②は劣化故障、③は経年劣化と考えられる

考え方を報告した⁵⁾。それによると絶縁紙の寿命は、その引張り強さが初期値の60%となったときとすることができる。

5.2 CO₂+COによる寿命診断

セルロース材料の引張り強さは、運転中の変圧器について測定することはできない。しかし、セルロース材料は熱、酸化劣化によってCO₂、CO、H₂Oを主に発生するので、CO₂+COの生成量と機械的強度の低下の相関が分かれば、絶縁油中のCO₂とCOを測定することによって、変圧器の経年劣化度や余寿命が推定できる。

絶縁紙の引張り強さと平均重合度の関係を図13に、CO₂+CO生成量と平均重合度の関係を図14に示す。これらから、絶縁紙の引張り強さ残率が60%のときのCO₂+CO生成量は絶縁

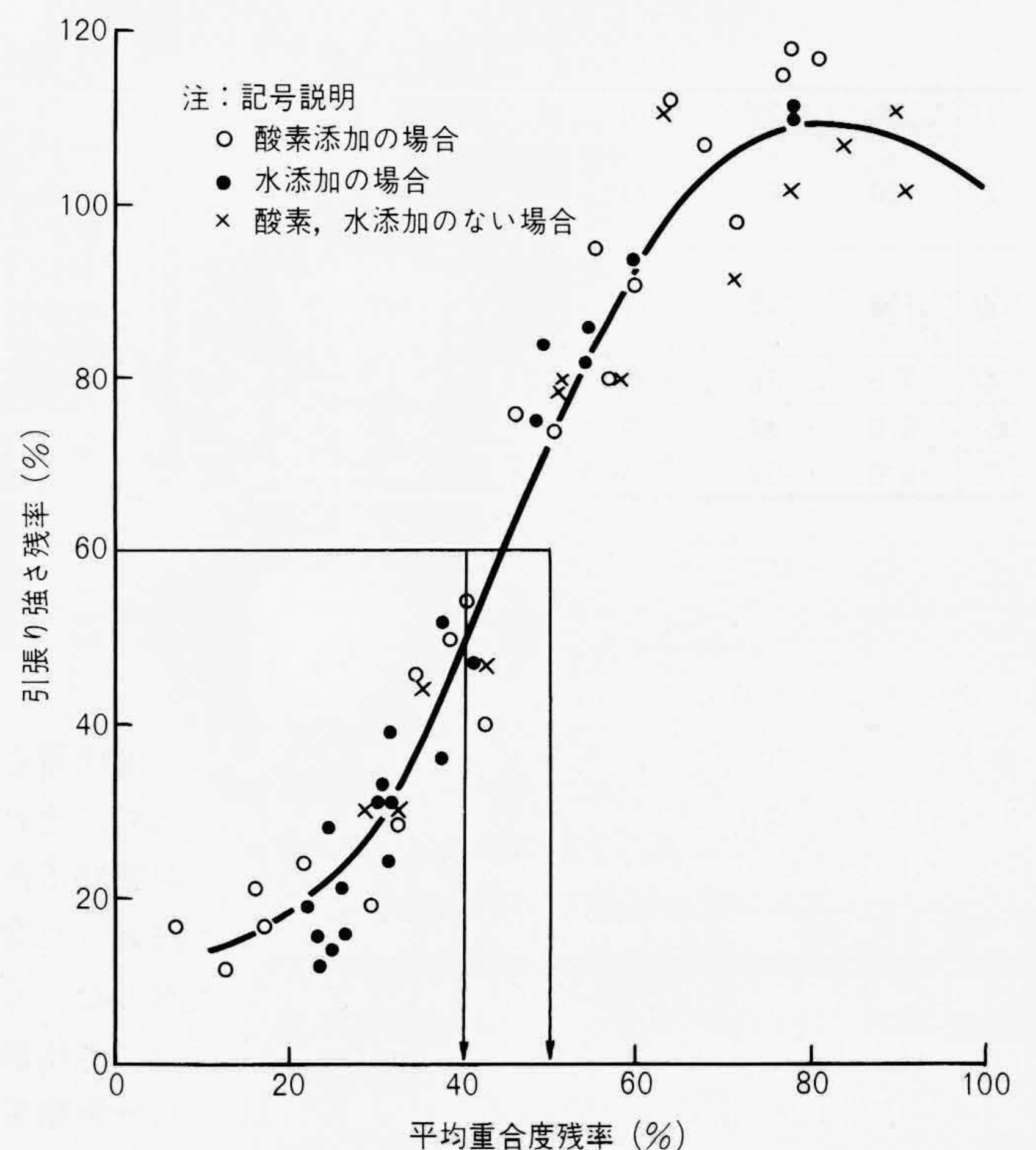


図13 絶縁紙の引張り強さ残率と平均重合度残率 寿命となる絶縁紙の引張り強さ残率60%は、平均重合度残率40～50%に相当する。

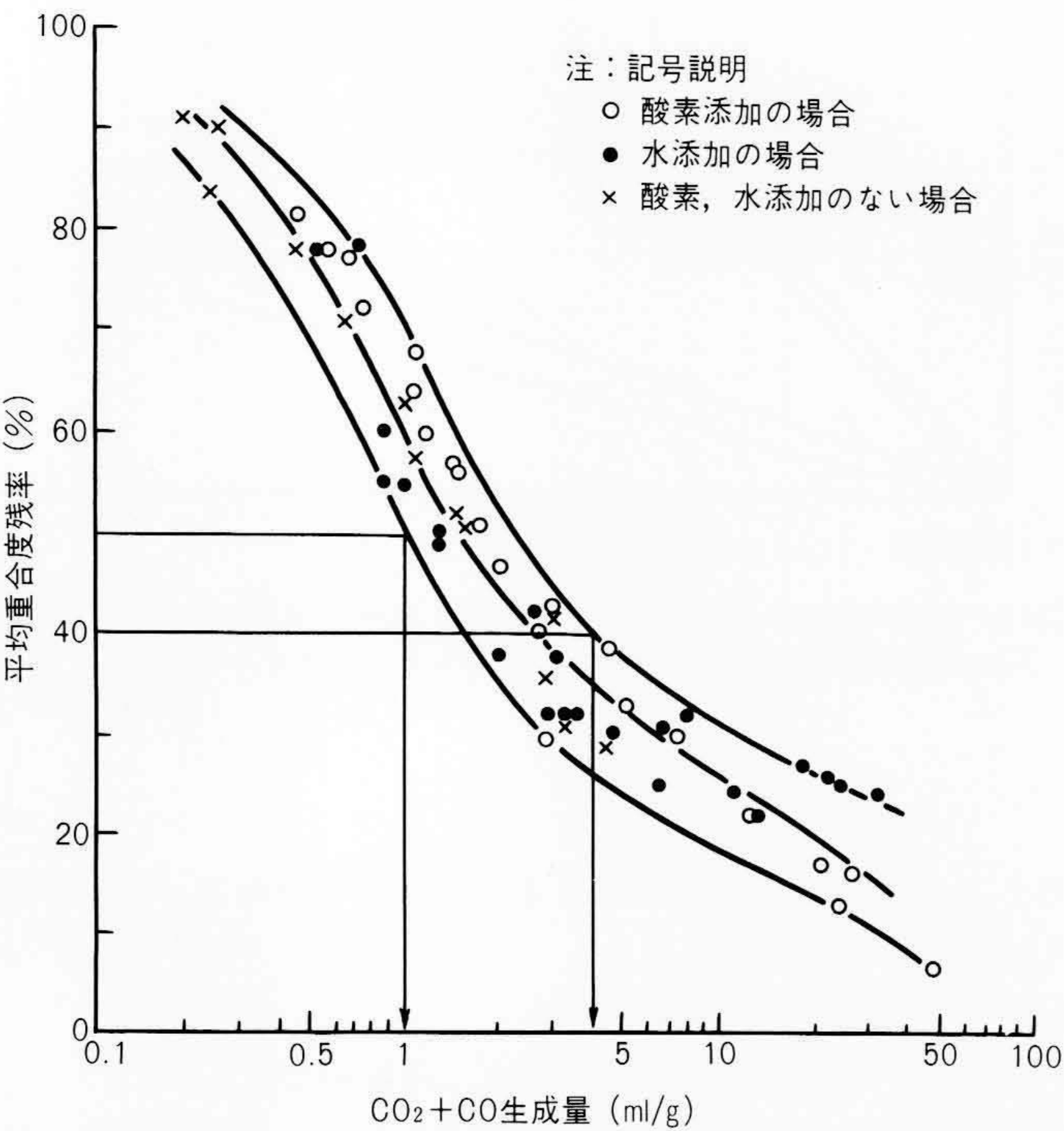


図14 絶縁紙の平均重合度残率とCO₂+CO生成量 平均重合度残率40～50%は、CO₂+CO生成量1～4 ml/gに相当する。

表 3 長期間運転変圧器の機械的特性変化 30年超過変圧器は、引張り強さ残率が55%以下に低下し、特にプレスボードの残率が更に低い。

No.	容 量 (MVA)	運転歴 (年)	絶 縁 物 特 性 (初期値に対するパーセント)				備 考
			重 合 度		引張り強さ		
			クラフト紙	プレスボード	クラフト紙	プレスボード	
①	10	22	70	57	90	70	廃棄変圧器
②	120	21	70	—	90	—	運 転 中 〔オーバーホール時 絶縁紙採取データ〕
③	150	19	73	—	90	—	
④	7.5	38	35	23	37	20	廃棄変圧器
⑤	6.0	32	24	19	24	19	
⑥	3.0	32	44	36	54	35	

紙単位重量当たり1～4 ml/gとなる。

上記の考え方をもとにして、絶縁油中のCO₂+CO生成量と生成速度から巻線に巻かれている絶縁紙の寿命を求め、それから変圧器の具体的な寿命診断手法をまとめたのが図15である。そして、実際に長期間運転又は廃棄されると決まった変圧器の劣化調査を行い、上記診断図の妥当性を検討した。6台の長期間運転変圧器の絶縁紙サンプリングを行い、劣化調査した結果を表3に示す。これらの結果と油中ガス分析結果のCO₂+CO量の関係を求め、図15内にNo.①～⑥としてプロットしたところ、絶縁物強度の劣化より要注意レベル以上に

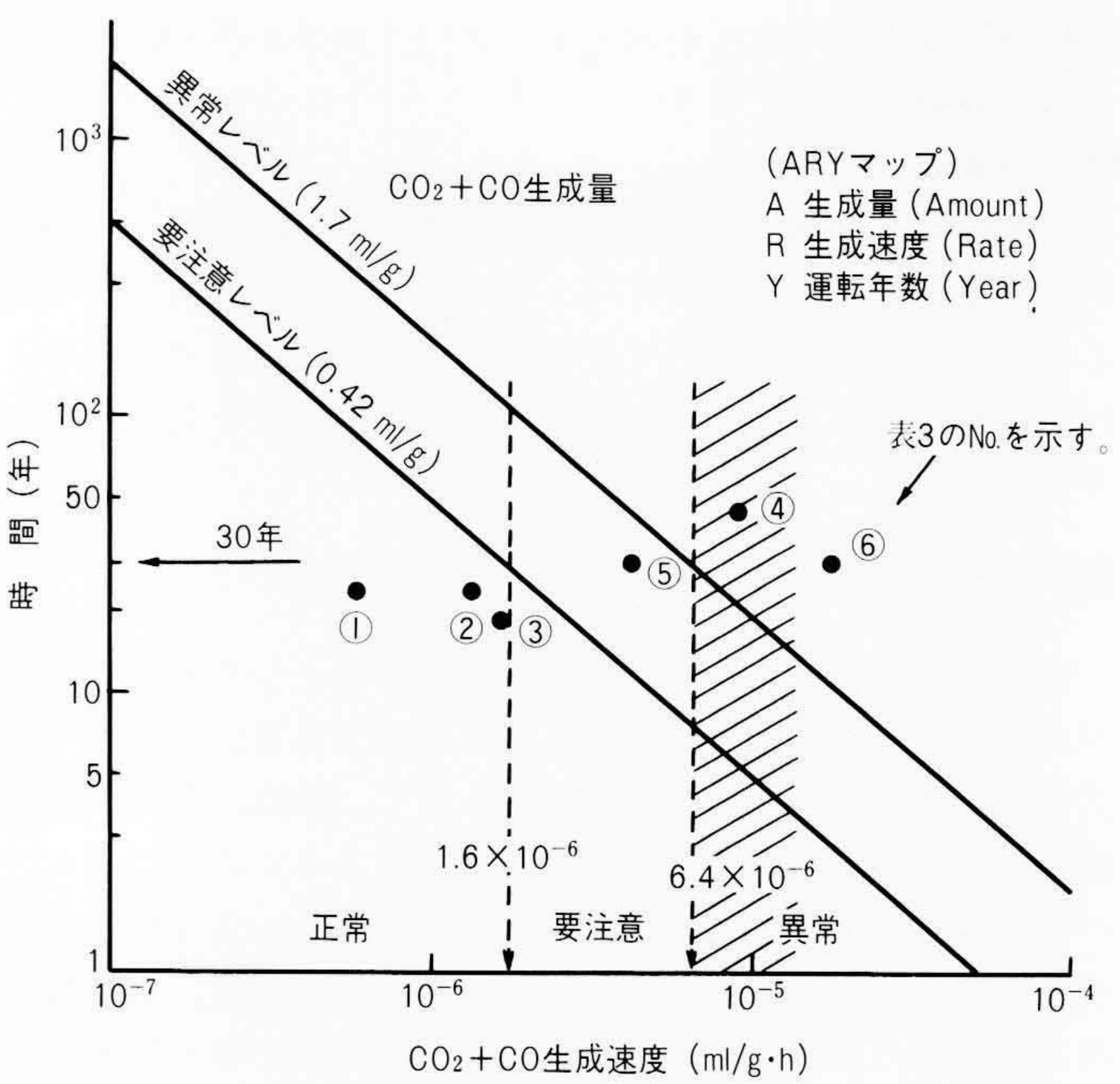


図15 寿命診断図 絶縁紙の温度がすべて一定でない変圧器としてのCO₂+CO生成量の管理値は、要注意レベル0.42 ml/g、異常レベル1.7 ml/gとなる。

ある変圧器(No.④～⑥)がCO₂+CO量の測定値からも要注意レベルにあるものと一致することによって、本図は寿命を推測する診断図として有効であることが分かった。

6 結 言

以上、変圧器の新製品である高インピーダンス500 kV変圧器と不燃変圧器、及び新技術である誘電率整合絶縁と寿命診断について紹介した。特に誘電率整合絶縁は、新たに開発した絶縁材料を使用して変圧器を小形化しようとする画期的なものである。今後も超電導材料、合成樹脂絶縁材料など、今までにない特性を持つ新材料が出現すると思われ、これら新材料を駆使して変圧器のいっそうの高信頼性、小形・高効率化を達成していきたい。

終わりに、技術開発と実用化に当たり、終始御指導、御支援をいただいた東京電力株式会社殿、中部電力株式会社殿をはじめとした電力会社の関係各位に対し厚く御礼申しあげる。

参考文献

1) 星, 外: 電力用変圧器の技術動向, 日立評論, 65, 5, 315～320 (昭58-6)
2) 梶山, 外: 高電圧大容量ガス絶縁変圧器, 三菱電機技報, 59, 3, 234～238 (昭60-3)
3) 後藤, 外: セパレート式ガス絶縁変圧器プロトタイプ完成, 電気学会全国大会, 716 (昭62)
4) 高木, 外: パーフルオロカーボン液中の複合絶縁系の絶縁特性, 電気学会全国大会, 779 (昭63)
5) 月岡, 外: CO₂とCOによる油入変圧器の経年劣化度診断の研究, 電気学会論文誌A, 106, 7, 331～338 (昭61-7)