

SF₆ガス絶縁変圧器の開発と実用化

Development of SF₆ Gas Insulated Transformer

都市の過密化の進展に伴い、市街地のビル、地下、鉄道、公共施設などに設置される受変電設備に用いられる電気機器には、小形・軽量、高信頼性、保守の容易さはもとより、特に防災上オイルレスによる不燃化と取扱いの安全性がますます強く要望されている。日立製作所では、これまで受変電設備用変圧器の不燃化には電圧33kV以下でH種絶縁乾式変圧器、及びモールド変圧器により対応してきたが、更に高電圧・大容量の不燃性変圧器としてSF₆ガス絶縁変圧器を開発・製品化し、このたび単相8MVA66/22kV・3台、及び三相10MVA66/6.6kV・2台を納入した。本稿ではその開発と実用化の経緯、特長と構造及び実器の適用事例について述べる。

長屋恒彦* Tsunehiko Nagaya

上野善人* Yoshito Uwano

熊坂隆生** Takao Kumasaka

紺野勝美* Katsumi Konno

1 緒 言

過密化の進んだ市街地のビル、鉄道、各種プラント、公共施設などに設置される受変電設備は、小形・軽量、高信頼性、保守性の向上はもとより、防災面から特に不燃化と耐震性、取扱いの安全性がより重要視されるようになった。受変電設備に使用される不燃性変圧器については、従来、屋内用33kV以下、10MVA以下の範囲でH種乾式絶縁変圧器が使用され、最近では耐湿性・耐塵埃性のより優れたモールド変圧器が多く使用されるようになったが、これらはいずれも絶縁・冷却媒体が空気であるため寸法、重量、経済性の点から60kV以上への適用は困難である。60kV以上の変圧器には、豊富な製作・運転実績による信頼性の向上、価格が安いこと、変圧器に起因する火災の少なかったことなどによって油入変圧器が広く使用されていた。しかし最近、都市防災に対する社会的要求が一段と強まるとともに、不活性で安全、電気絶縁性能及び消弧能力の優れたSF₆ガスを適用したGIS(Gas Insulated Switchgear: ガス絶縁開閉装置)などをはじめとするSF₆ガス絶縁機器の技術進歩と信頼性向上の結果、このガス絶縁技術を変圧器技術と結合してSF₆ガス絶縁変圧器を開発し、60kV以上にも適用可能な高電圧・大容量の不燃性変圧器として実用化するための研究・試作が活発に進められた。

本稿では、日立製作所でのSF₆ガス絶縁変圧器の開発経緯、特長、構造及び製品の適用事例についてその概要を紹介する。

2 SF₆ガスの特性

SF₆ガスは、通常の状態では不活性、不燃性・非爆発性、無色・無臭・無毒で、それ自体では500℃まで分解せず、200℃以下では特別の金属材料を除き反応しない極めて安定な気体である。その最大の特長は、優れた絶縁耐力と消弧能力で、各種のガス絶縁機器に広く使用されている。

ここではSF₆ガス絶縁変圧器に適用する上で考慮すべき特性の概要について述べる。

表1にSF₆ガスの特性を、空気及び鉱油と比較して示す。SF₆ガスの比重は大気圧で空気の約5倍であるが、鉱油の約 $\frac{1}{140}$ であり、機器の軽量化に有利である。更に、SF₆ガスの絶縁耐力は大気圧では空気の2～3倍であるが、封入ガス圧力の増加に従って増大し、約3気圧で油と同等の値となる。しかし、SF₆ガス絶縁変圧器は従来の鉱油入変圧器に比べ下記

表1 SF₆ガスの特性(空気、鉱油との比較) SF₆ガスは鉱油と比べ耐熱性が高く、軽量、非爆発性であり、空気と比べて絶縁及び冷却特性に優れている。

項 目	SF ₆ ガス	空 気	鉱 油
絶縁耐力	2.0～3.0 約3気圧で油に匹敵	1.0	6.0～7.0
誘電率	1.0	1.0	2.2
比 重	5.0	1.0	700
熱伝達率	1.5	1.0	10
放電による分解	非爆発性	—	アークにより分解ガスを生じ、爆発性あり。
不 燃 性	不 燃	不 燃	引火点140℃
熱安定性	200℃以下(単体では500℃以下)	良	105℃以下
熱劣化	酸化劣化なし	酸化劣化	油の酸化劣化
音 速	1/2.6	1.0	4.0

注：単位のない数値は大気圧、20℃での空気に対する概略の比率を示す。

の点で特別の配慮が必要である。(1) 商用周波電圧波高値に対する絶縁耐力と雷インパルス電圧に対する絶縁耐力との比、すなわち衝撃比は油浸絶縁の構成に比べて低いので、特に雷インパルス電圧に対して合理的な絶縁構成とする必要がある。(2) 不平等電界では絶縁耐力が著しく低下することがあるため、電界を平等に近づけることが重要である。(3) SF₆ガスの誘電率は1.0で、固体絶縁物と組み合わせた場合、誘電率が2.2の鉱油の場合に比べ、電界が集中しやすくなるので、電界緩和を十分に考慮した絶縁構造とする必要がある。(4) SF₆ガスの熱伝達率は自然対流で空気の約1.5倍、鉱油の約 $\frac{1}{10}$ である。したがって、鉱油の冷却能力に近づけるためには、SF₆ガスを強制循環して熱伝達率を高める必要がある。

3 SF₆ガス絶縁変圧器の開発

日立製作所は昭和41年からSF₆ガス絶縁変圧器の開発に着手し、昭和42年には22kV、単相2MVAの実器試作を完了した¹⁾。図1にその外観を示す。その後引き続き60kV、70kV級を対象として図2に示すような各種要素モデルによる絶縁特

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

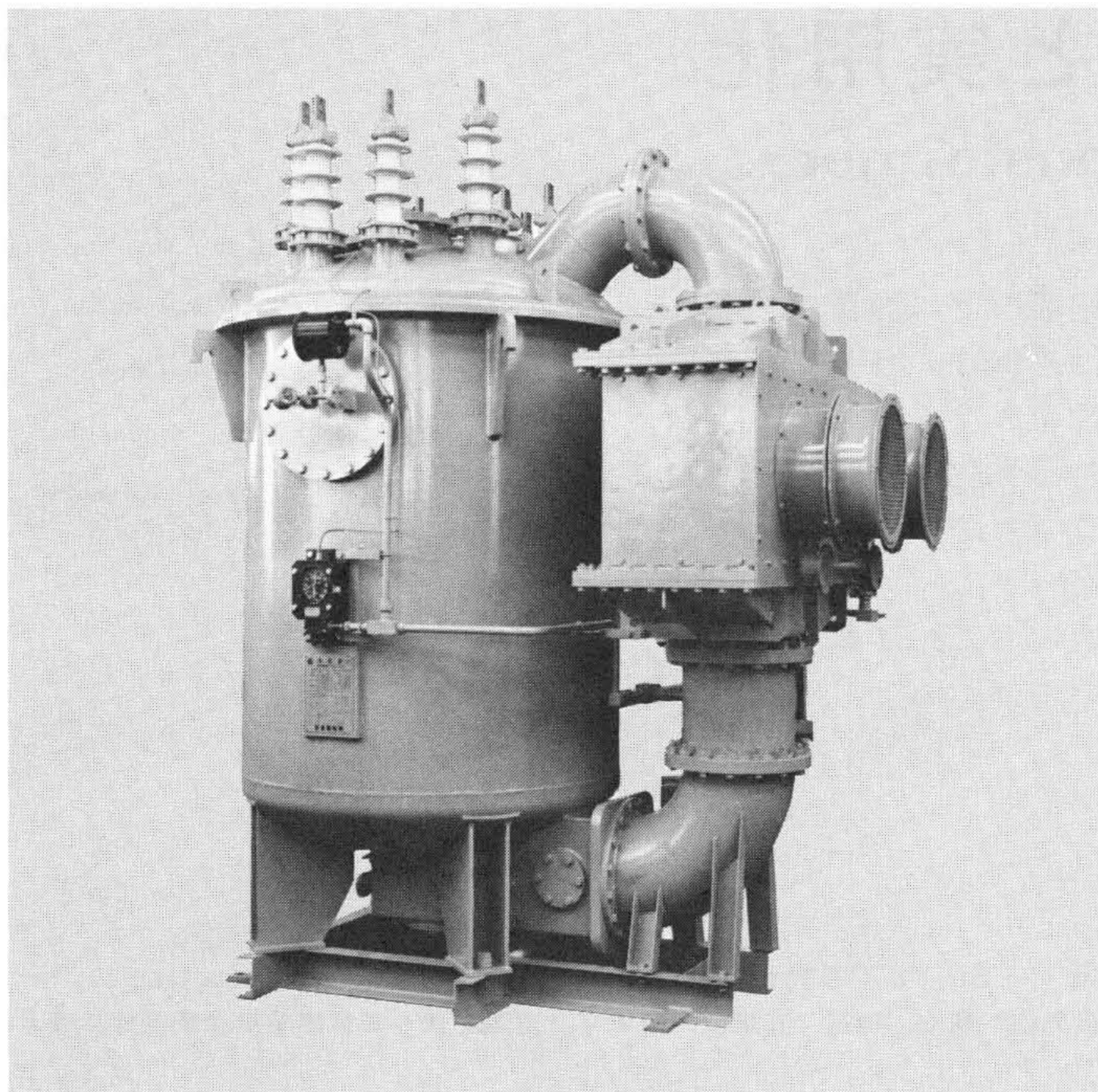


図1 22kV, 単相2MVA SF₆ガス絶縁変圧器 送ガス風冷式を採用し、工場内の試験電源として長期信頼性を検証した。

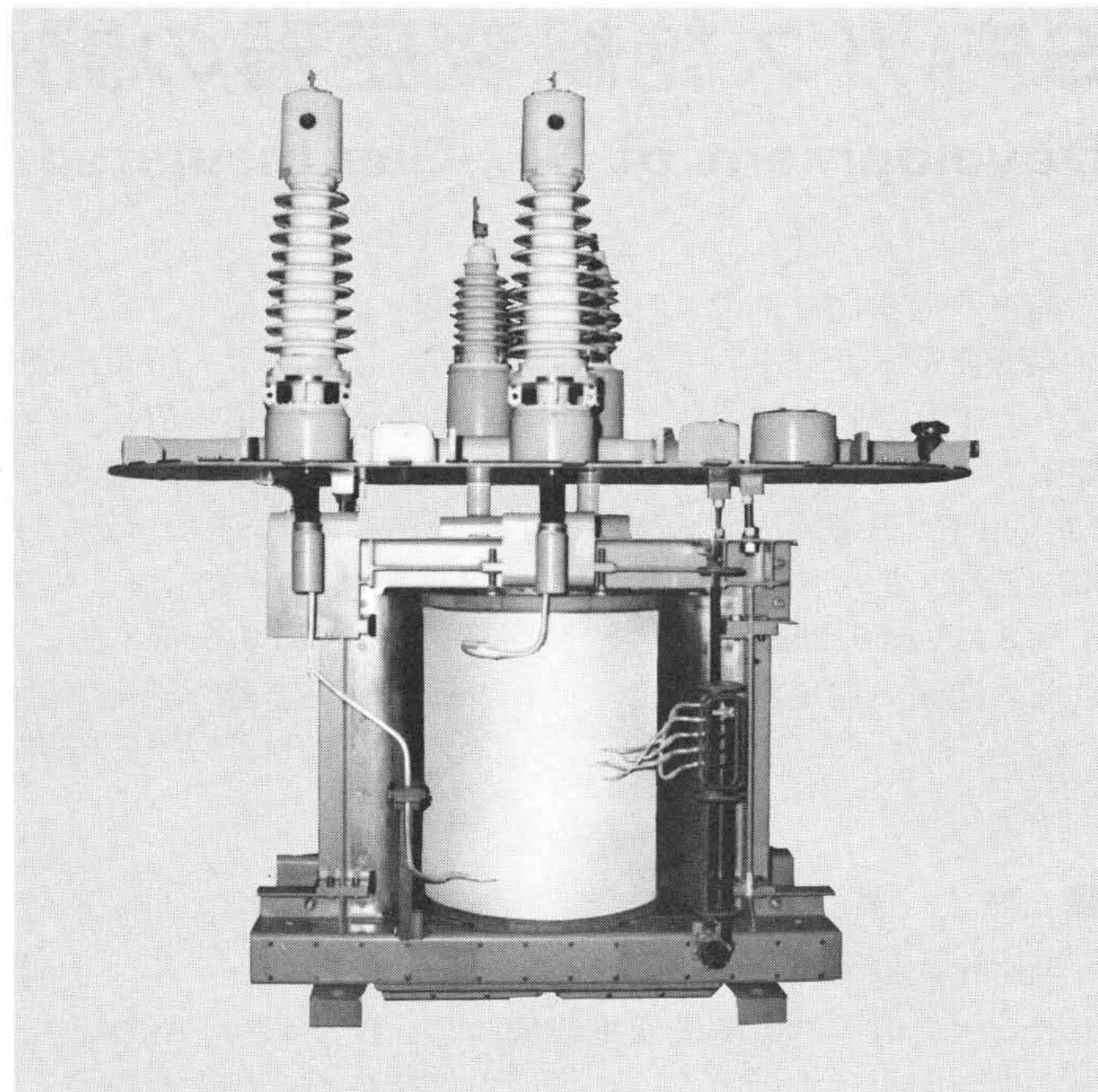


図3 66kV, 10/3MVA試作器の組立外観 実器一相分を製作し、設計・製作技術上のノウハウを蓄積した。

性、及び冷却特性の解明²⁾を行ない、それらの研究成果をもとに66kV, 10/3MVA実器試作を実施し、設計・生産技術を確認した。図3は本試作器の組立外観を、また図4は絶縁試験及び温度試験時の外観を示す。昭和54年からは電力用変圧器への適用拡大を図るため、更に高電圧・大容量化の研究開発を推進した結果、昭和56年に図5に示す147kV, 20/3MVAの実器試作に成功した³⁾。

本変圧器は現在、UHV(Ultra High Voltage)(1,000kV級)試作変圧器の長期課電試験用電源として順調に運転中である。これら一連の研究開発・試作の成果が認められ、今回単相8MVA66/22kV・3台及び三相10MVA66/22kV・2台の実器を相次いで受注、製作のうえ納入した。

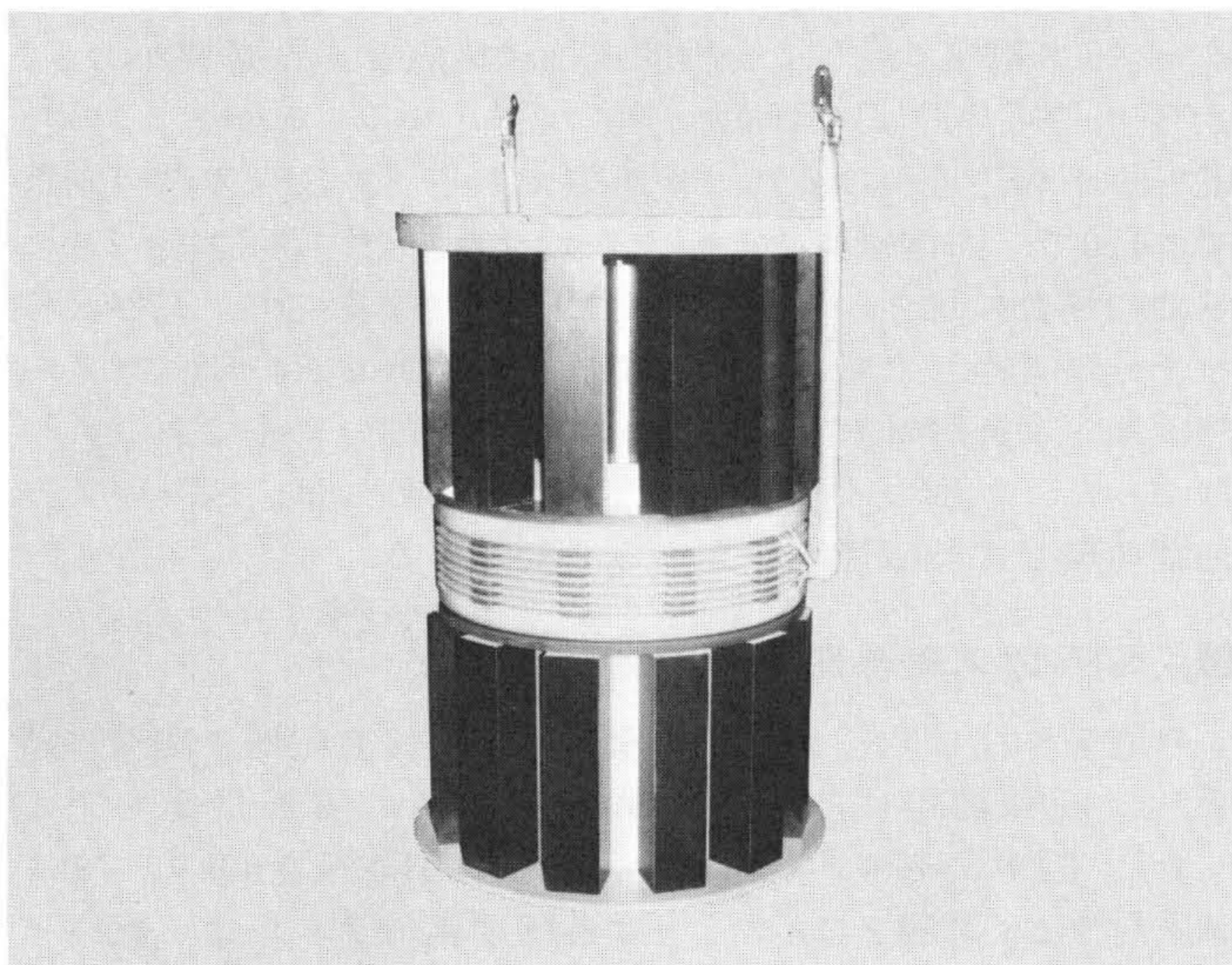


図2 主絶縁要素モデル プラスチックフィルムを使用した60~140号級の巻線要素モデルによる絶縁破壊試験を実施し、SF₆ガス中での最適絶縁構造を決定した。

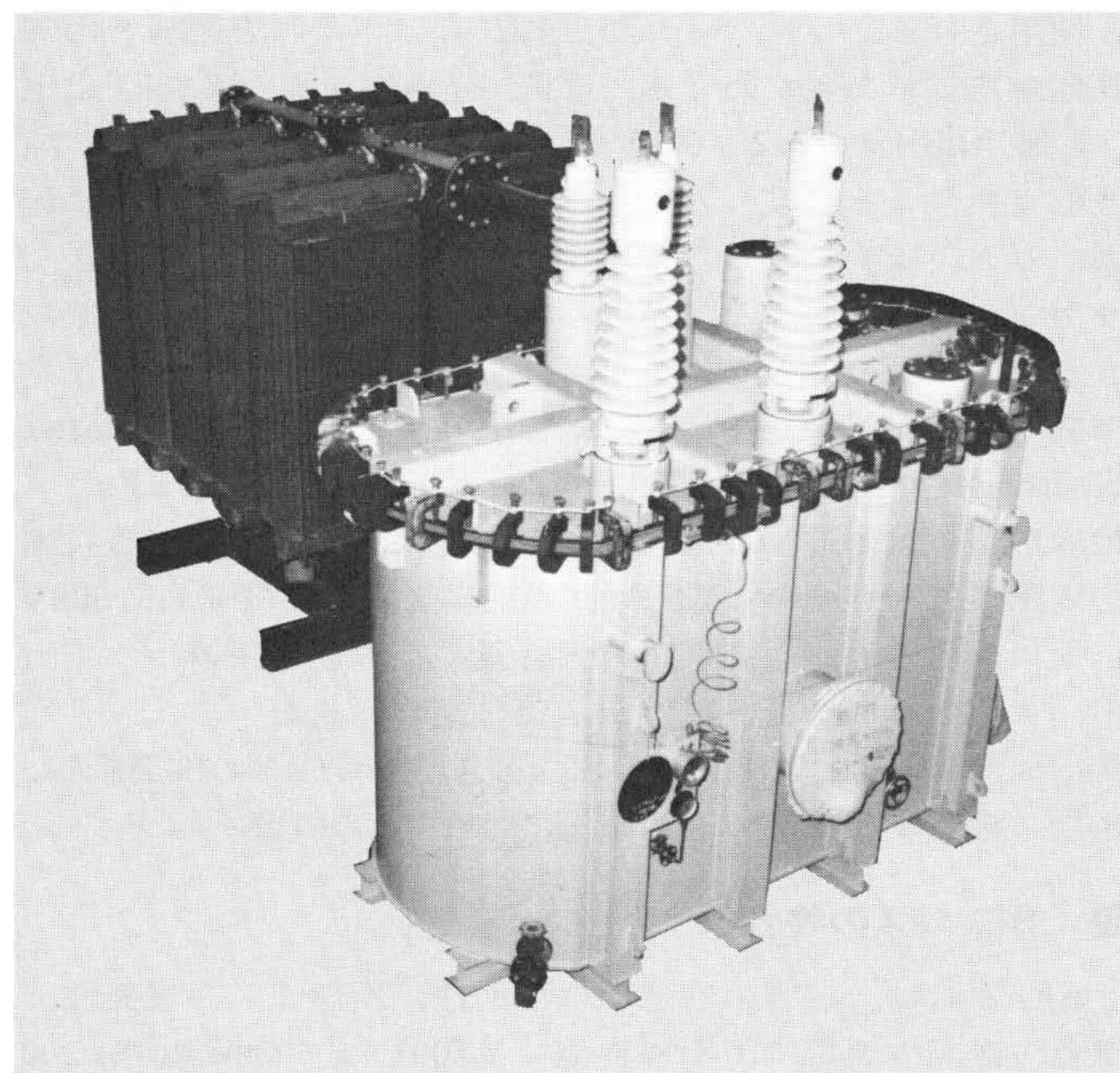


図4 66kV, 10/3MVA試作器の外観 絶縁試験、温度上昇試験を実施し、設計・生産技術を確認した。

4 SF₆ガス絶縁変圧器の特長

表2に各種変圧器の比較を示す。SF₆ガス絶縁変圧器は次のような特長をもっている。

(1) 防災性に優れ、消火設備や防火設備が軽減できる。

SF₆ガスは不燃性・非爆発性であり、変圧器に対する消火設備や防火壁などの防火設備が軽減される。また、無毒・無臭のため安全性も高い。

(2) 油入変圧器に比べて軽量である。

SF₆ガスの熱伝達率は鉱油に比べると劣るが、送ガス風冷

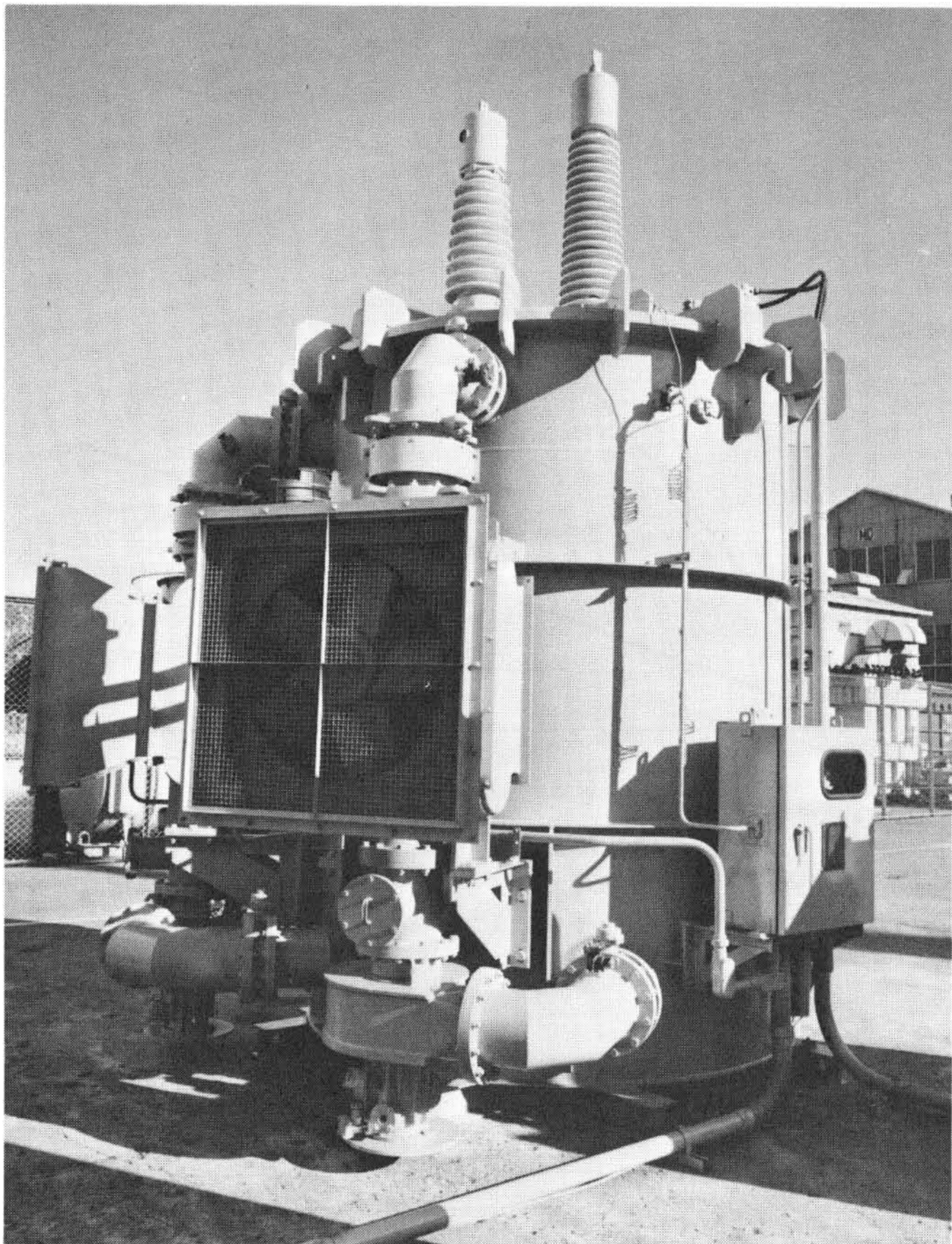


図5 147kV, 20/3MVA SF₆ガス絶縁変圧器 UHV(1,000V級)試作変圧器の長期課電試験用として、順調に運転されている。

式として熱伝達率を高めることにより、中身重量の低減を図ることができる。また、SF₆ガスの比重は表1に示すように鉱油に比べてはるかに小さいため、全体で比較すれば軽量となる。

(3) 高電圧・大容量の不燃性変圧器が製作可能である。

SF₆ガス絶縁に適した絶縁構造・冷却構造の採用により、33kVを超える高電圧で30MVA程度までの変圧器を不燃化でき、その特性は油入変圧器と同等以上である。30MVA以上については、SF₆ガスと蒸発性の絶縁冷却液とを組み合わせた蒸発冷却方式の採用が考えられる。最近では防災と保守の容易さから、33kV以下への適用も検討されている。

(4) 保守が簡単である。

完全密封構造であるから、外気の侵入がなく、湿気や塵埃による中身の絶縁低下がない。また、内部には不活性なSF₆ガスが封入されているため、絶縁物の経年劣化が少なく、長寿命が期待されるので変圧器本体の点検は不要である。

ガス循環送風機、監視用計器類などは本体のガスを抜くことなく点検・交換を行なえる構造とし、保守を容易にしている。

(5) 変電所全体の不燃化を実現できる。

GISとの直結により、変電所全体の不燃化が可能となる。また、受変電設備の計画及び保守・点検内容がSF₆ガス絶縁方式として共通化される。

(6) 据付が簡単である。

SF₆ガスは真空引き後、ガスボンベからホースで直接変圧器に封入でき、油処理機材、防油堤などが不要であるので作業が容易で清浄に行なえる。日立製作所では本体と冷却器系統を分離して輸送する場合、本体はタンクに定格圧力のSF₆

表2 各種変圧器の比較 SF₆ガス絶縁変圧器は防災変圧器として優れた特長をもっている。

No.	項目	SF ₆ ガス絶縁変圧器	モールド変圧器	油入変圧器
1	絶縁冷却媒体	SF ₆ ガス	レジン、空気	鉱油
2	使用場所	屋内・屋外	屋内	屋内・屋外
3	特性			
	難燃性	◎	◎	△
	非爆発性	◎	◎	△
	耐湿性	◎	○	◎
	耐塵性	◎	○	◎
4	冷却方式	自冷 送ガス自冷 送ガス風冷	自冷 風冷	自冷
5	GIS直結	◎	△	◎
6	据付	◎	◎	○
7	保守点検	温度計監視 ガス圧力監視 SF ₆ ガスの性状 チェック ブロー点検	同左 外観目視 掃除機、ウエスによる清掃	同左 油漏れ点検 絶縁油の 特性チェック
8	床面積(%)	90~110	30~50	100
9	重量(%)	90~110	75~90	100
10	騒音	◎(自冷時)	○	○
11	損失(%)	75~80	90	100

注：◎印は優、○印は良、△印は可を示す。
略語説明 GIS(Gas Insulated Switchgear：ガス絶縁開閉装置)

ガスを封入して輸送し、現地では現地で接続された部分にだけSF₆ガスを封入する方法を採用して、据付工程の短縮及び信頼性向上を図っている。

(7) 騒音が低い。

SF₆ガスの密度は20℃大気圧で鉱油の約 $\frac{1}{140}$ 、SF₆ガス中での音速は鉱油中での約 $\frac{1}{16}$ であるから、SF₆ガスの音響インピーダンスは約 $\frac{1}{1,000}$ となる。したがって、変圧器鉄心の振動振幅を同一とした場合、SF₆ガス中での音圧は鉱油中よりも小さくなり、防音性に優れている。また、外部への騒音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となるので、一般的に騒音は小さくなる。ただし、送ガス風冷式については冷却ファンの騒音について検討する必要がある。

5 SF₆ガス絶縁変圧器の構造

SF₆ガス絶縁変圧器の構造は基本的には油入変圧器と同一であるが、変圧器の技術とGISなどで蓄積されたSF₆ガス絶縁技術を結合することによってSF₆ガス絶縁に適した信頼性の高い設計及び構造としている。冷却方式にはガスを強制循環させるための電動送風機を備えた送ガス自冷式及び送ガス風冷式、又はガスを自然循環させるだけの自冷式がある。

SF₆ガスの熱伝導率、熱伝達率などは油よりも低いため、冷却方式は送ガス式とする場合が多い。ここでは図6に示す送ガス風冷式を例として日立製作所のSF₆ガス絶縁変圧器の構造とその特長について説明する。

5.1 鉄心

鉄心は磁気特性の優れた方向性けい素鋼帯を使用し、脚部バインド締付方式の採用によって低損失化を図っている。

5.2 巻線及び絶縁

巻線の素線絶縁材料には、SF₆ガス中での絶縁耐力と耐熱性に優れたポリエステルフィルムを使用している。ポリエス

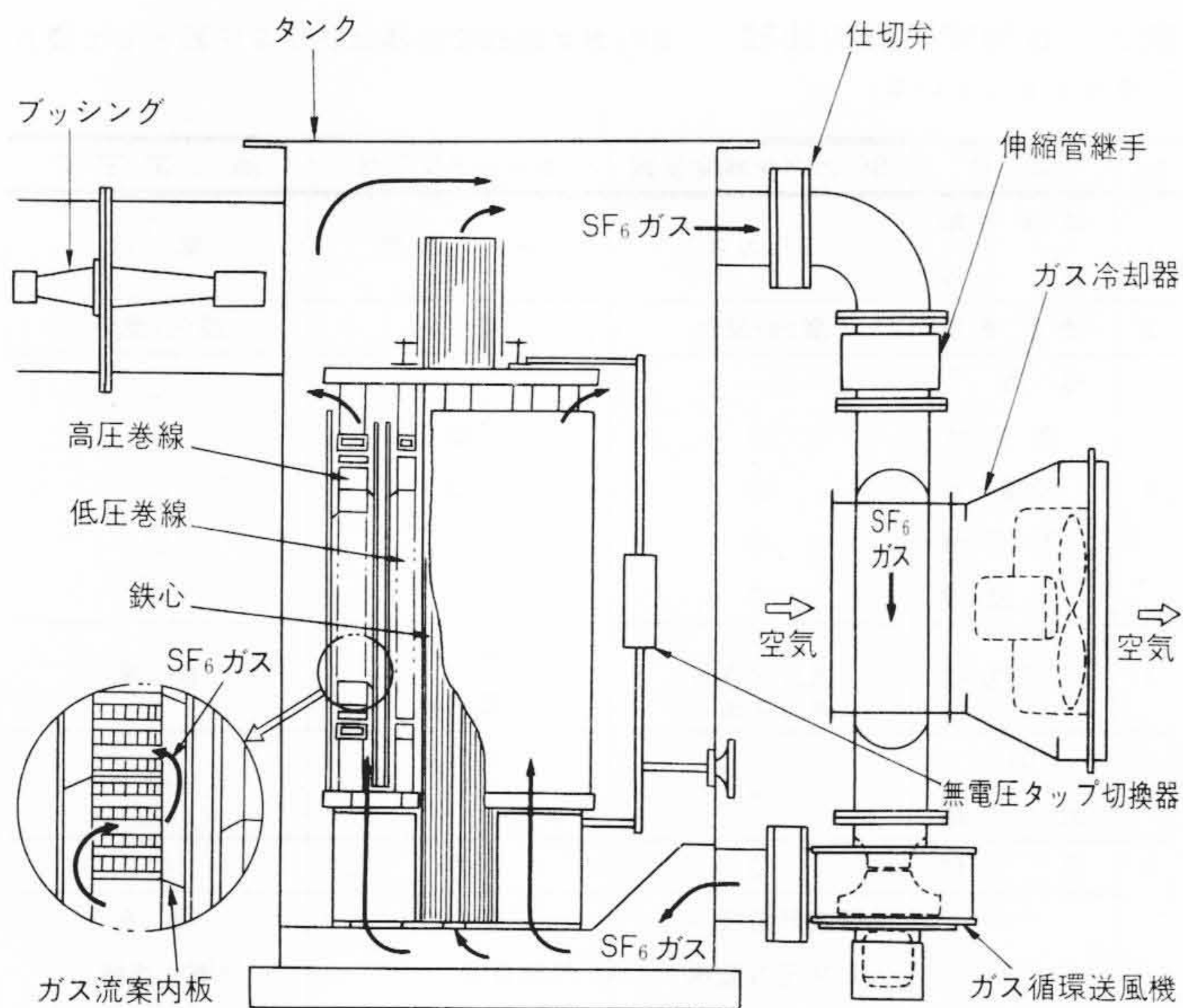


図6 SF₆ガス絶縁変圧器の構造(送ガス風冷式) SF₆ガスの特性を生かすため、SF₆ガス絶縁技術と変圧器技術とを効果的に組み合わせて、信頼性の高いものとしている。

ポリエステルフィルムとクラフト紙のSF₆ガス中での絶縁耐力の比較を図7に示す。SF₆ガスの絶縁特性には、衝撃比が低く、絶縁耐力が空気や絶縁油に比べて電界依存性が高いという特徴があるため、特に雷インパルス電圧に対して合理的な絶縁構成としている。また、複合絶縁構造での電界集中の程度が油浸紙絶縁よりも過酷となるため、電界緩和の構造に注意を払っている。高圧巻線には直列静電容量の大きくとれるインターリーブ巻線を採用して雷インパルス印加時の電位分布を均等化し、電位振動の抑制を図っている。巻線間あるいは巻線～大地間の絶縁については、巻線端部の誘電体シールド及び電界緩和シールドを効果的に設け、電界の平等化を図っている。また、SF₆ガスの絶縁耐力は水分や塵埃などの異物の存在によっても影響を受けるため、巻線や組立作業には除湿された防塵室を使用し、巻線や絶縁物は十分な真空乾燥処理を行なって水分を除去するとともに、タンクに封入するSF₆ガスの水分や純度を事前に確認するなど、製作面での信頼性向上を図っている。なお、万一ガス圧力が大気圧まで低下しても常規回路電圧に耐える設計としている。

5.3 冷却構造

巻線内部には冷却ダクトのほかにガス流案内板を配置し、SF₆ガスをジグザグ状に流すことによって冷却効果を高めている。冷却ダクトの寸法及びガス流案内板の配置については、計算機による流れの解析を行なう一方、巻線断面を模擬したモデルによる実験を行ない、温度上昇との関係を詳細に把握して、その効果を十分に発揮するよう決定している。なお、送ガス方式ではタンク底部に均圧室を設け、ガス循環送風機から送り込まれたSF₆ガスが、この均圧室から各巻線に適正に配分されて流入する構造とし、圧力損失の低減によるガス循環送風機の小型化を図っている。

5.4 タンク

SF₆ガスの封入圧力は20℃でゲージ圧力1.15kg/cm²とし、変圧器運転時の最高温度でもゲージ圧力2.0kg/cm²未満としている。したがって、タンクは圧力容器構造規格の適用を受けないが、安全性を重視して、ゲージ圧力3.0kg/cm²までの内圧に耐える強度をもっていることを検討している。また十分な

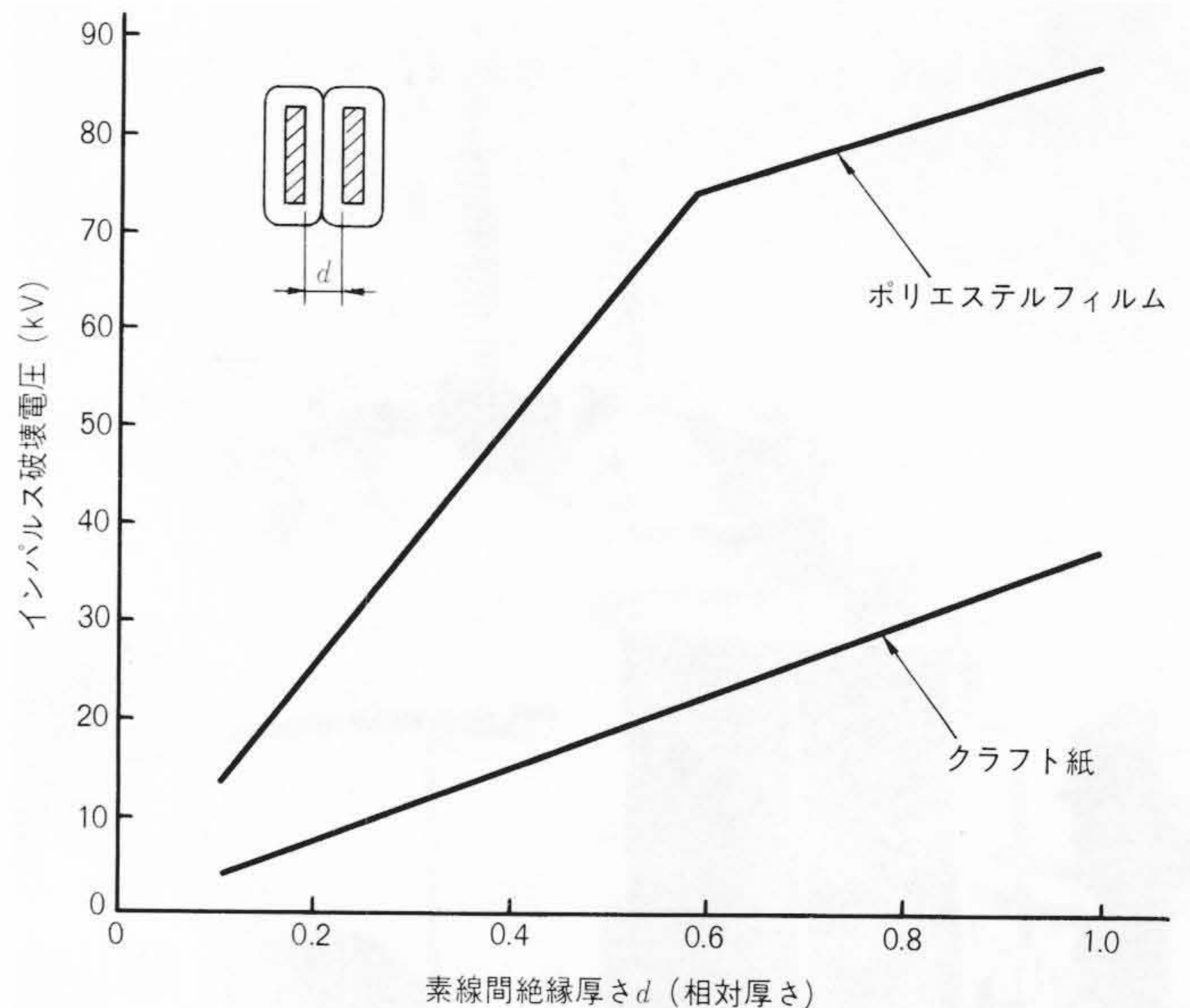


図7 ポリエステルフィルムの絶縁耐力 SF₆ガス中では気孔率の大きなクラフト紙に比べて、ポリエステルのような高分子材料の絶縁耐力が優れている。素線絶縁厚さは、クラフト紙の標準モデルに対する比で示した。

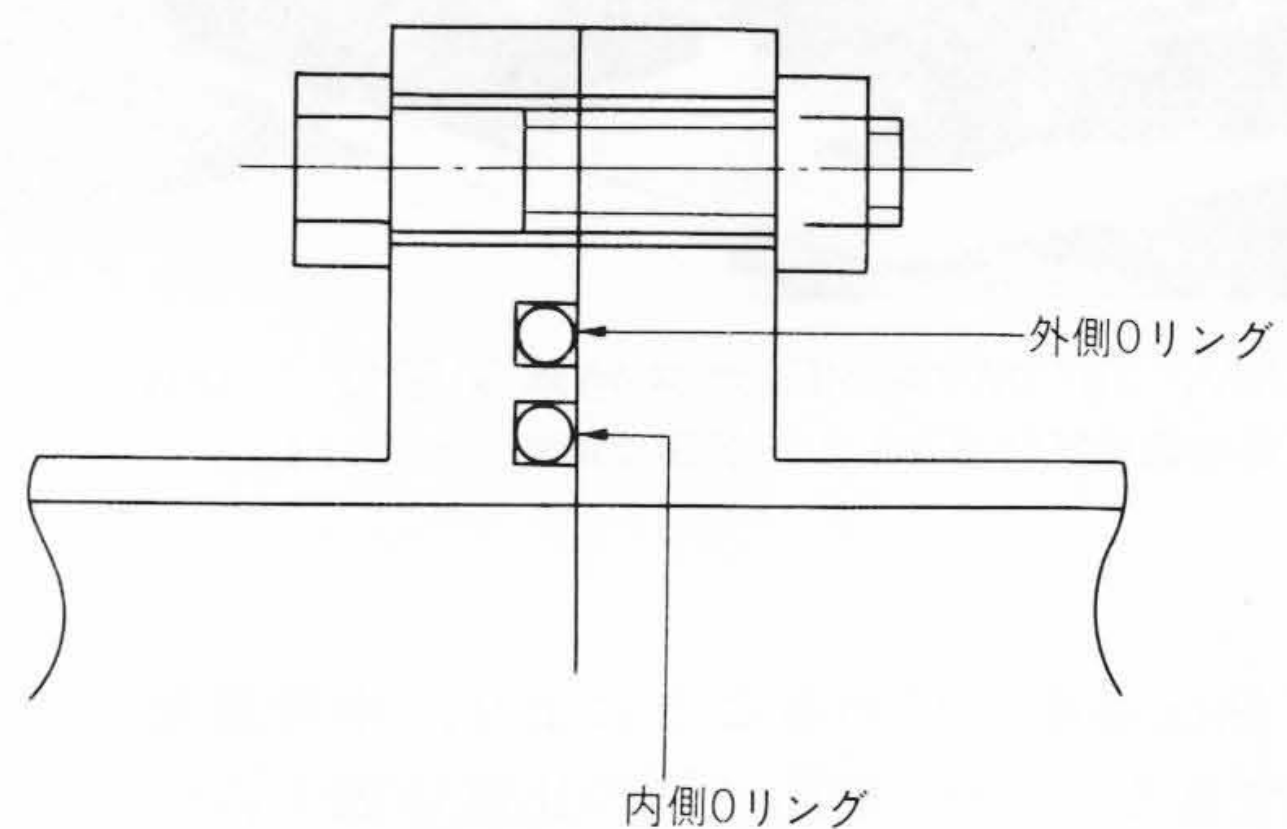


図8 二重Oリングの構造 外側Oリングによるバックアップで、信頼性を向上させている。

耐真空、耐気密性能を満足するように溶接部は全数気密試験を実施し、SF₆ガスシール面については欠陥のない材料を選定して使用するほか、日立製作所のガス絶縁機器で長年の実績のある図8に示す二重Oリング構造を採用して経年的なガス漏れを防止している。更に変圧器中身をタンクに収納後にも、最高使用ガス圧力で、SF₆ガスリークディテクタによる蓄積法でガス漏れをチェックするなど、変圧器の組立最終段階に至るまで万全を期した管理を行なっている。

5.5 付属品

(1) ブッシング

電圧分担及びガスシール性に優れたエポキシコンデンサブッシングを使用している。

(2) 無電圧タップ切換器

地上で外部からのハンドル操作により容易に切換操作を行なえるスライド方式を使用し、電極摺動部はSF₆ガス中での使用に対し十分な信頼性のある材料と構造を採用している。

(3) 冷却器

送ガス風冷式では、熱交換器としてアルミニウム製のチューブプレートとコルゲートフィンを交互に積み重ね、プレート内のSF₆ガスとファンによる冷却空気を直交させて冷却するSF₆ガス-空気熱交換器を採用し、耐食性、熱交換特性の

向上及び小形・軽量化を図っている。

送ガス自冷式及び自冷式では、油入変圧器の放熱器に類似したパネル形の放熱器を使用しているが、SF₆ガス絶縁変圧器用として特に耐圧力、耐気密性を向上させたものを採用している。特に、放熱器プレート間の偏流や配管部での圧力損失などを最小とするように流路の構造を工夫している。

(4) ガス循環送風機

渦巻式電動送風機を使用し、軸受の潤滑油を電動機軸の回転を利用して強制循環させる方式として、潤滑油の熱劣化に伴う軸受の寿命低下を防止している。潤滑油の交換は、ガス循環送風機や変圧器タンク内のSF₆ガスを抜くことなく容易に行なえる構造としている。送ガス風冷式では冷却系統を二重化し、送ガス自冷式ではガス循環送風機だけを二重化することによって、ガス循環送風機の万一の故障に対処している。

(5) 仕切弁

変圧器本体と冷却系統を連結する配管の途中には仕切弁を設け、変圧器本体の密封を保持した状態での本体輸送及び付属品の保守・点検を可能としている。

5.6 保護装置

SF₆ガス絶縁変圧器の保護方式は基本的には油入変圧器と同様であるが、漏れと内圧の上昇に対する保護が異なる。

(1) ガス漏れ

SF₆ガスの絶縁、冷却性能などはガス密度に依存しているため、封入されたSF₆ガスの密度低下、すなわちガス漏れの検出と圧力管理が重要である。SF₆ガス絶縁変圧器の内部圧力は外部への漏れのほか、負荷や周囲温度の変動に伴うガス温度の変化によって変動するため、漏れによるガス密度の低下は温度補償形圧力スイッチ(ガス密度検出器)により検出し、警報及び遮断の2段階で保護する。

(2) ガス圧力の上昇

SF₆ガス絶縁変圧器のタンク内部でのガス圧上昇の要因としては、(a) 内部事故時のアークによるSF₆ガスの分解による体積膨脹、(b) GIS直結形とした場合のGIS側からの漏れによる圧力上昇が考えられるが、(a)の場合は遮断器により保護されるまでの時間を考慮すれば、ガス圧力上昇は最大でもゲージ圧力0.1~0.2kg/cm²である。一方、(b)の場合は封入ゲージ圧力3.5kg/cm²(20℃)のGIS側から封入ゲージ圧力1.15kg/cm²(20℃)の変圧器側にガスが侵入することによるもので、圧力上昇の程度はGIS側と変圧器側の容積比にもよるが、(a)の場合に比べ数倍となり、条件としては最も過酷である。(b)の場合でもタンク及び付属品は十分な強度をもっているため、圧力上昇に対しては圧力スイッチによって警報を出すようにしている。

6 運転・保守

SF₆ガス変圧器の運転・保守は、ガス圧力・温度の管理及び送ガス式のガス循環送風機、冷却ファンの保守・点検が主体となるが、無保守・無点検化を図るために次に述べるように設計構造上の配慮がなされている。

(1) ガス圧力・温度の管理

監視箱内にガス密度検出器、連成計、圧力スイッチ及びダイヤル温度計を集約し、巡視点検を容易にしたほか本体と検出部との取付けは間接形とするとともに、弁操作によって本体側のガスを抜くことなく動作確認と交換を行なえるようにしている。

また、これらには電気接点を備えて遠隔監視を容易にしている。

(2) ガス循環送風機、冷却ファンの保守・点検

軸受は定期的に交換を要するが、ガス循環送風機への潤滑油循環方式の採用及び冷却ファンへの高耐熱グリース採用によって長寿命化を図り、仕切弁により本体のガスを抜くことなく交換作業ができるようにしている。したがって、通常は潤滑油の変色や異音の有無を確認する程度の点検で十分である。

ガス漏れが発生した場合は、SF₆ガスの比重が空気の約5倍であることから、ガスが下部に停滞する傾向があるので換気をよくするなど、酸欠防止に対する注意が必要である。

7 SF₆ガス絶縁変圧器の適用

SF₆ガス絶縁変圧器はその特長から、防災(火災予防)を重要視される場所の屋内・外受変電設備用として最適であり、具体的な用途として下記が考えられる。

- (1) 地下、トンネル又は高架下など電鉄用の受電用変圧器、き電用変圧器、所内電源用変圧器
- (2) ビル、地下街、病院、学校、空港、展示場、競技場など人が多数集まる場所や公共施設の受電用変圧器
- (3) 上下水道など清浄さを必要とする場所の受電用変圧器
- (4) 石油精製など防災を必要とする化学プラントの受電用変圧器
- (5) 住宅密集地に設置される配電用変圧器

図9に地下鉄用の地下変電所に設置された受電用変圧器⁴⁾を示す。本変圧器は図10に示すように搬入、搬出時の寸法・重量の制約によって単相8MVA、66/22kV・3台をGIS直結形と

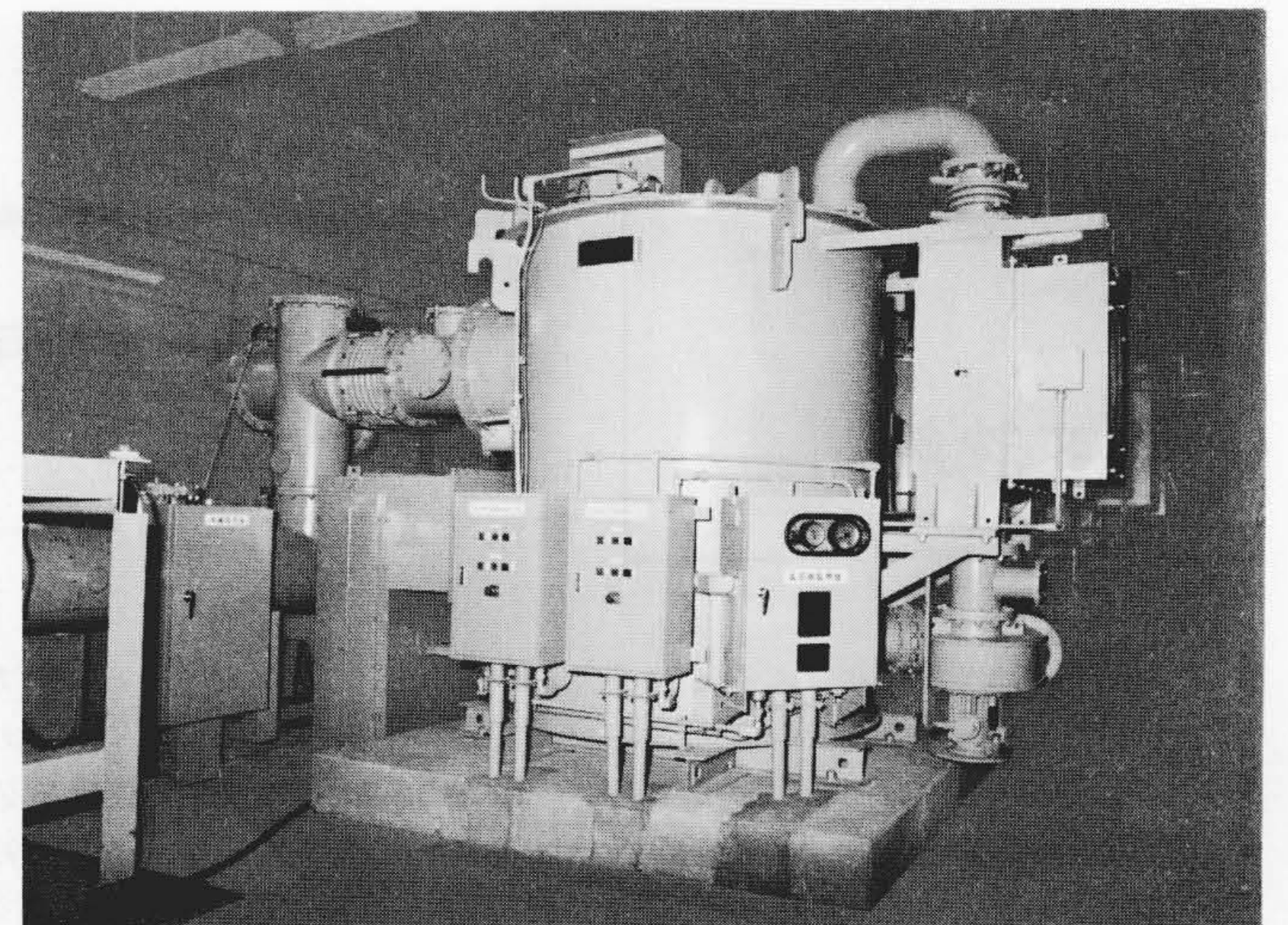


図9 単相8MVA、66/22kV・3台SF₆ガス絶縁変圧器 防災が重要視される地下変電所に設置され、GIS直結形として全体の不燃化とコンパクト化を図っている。

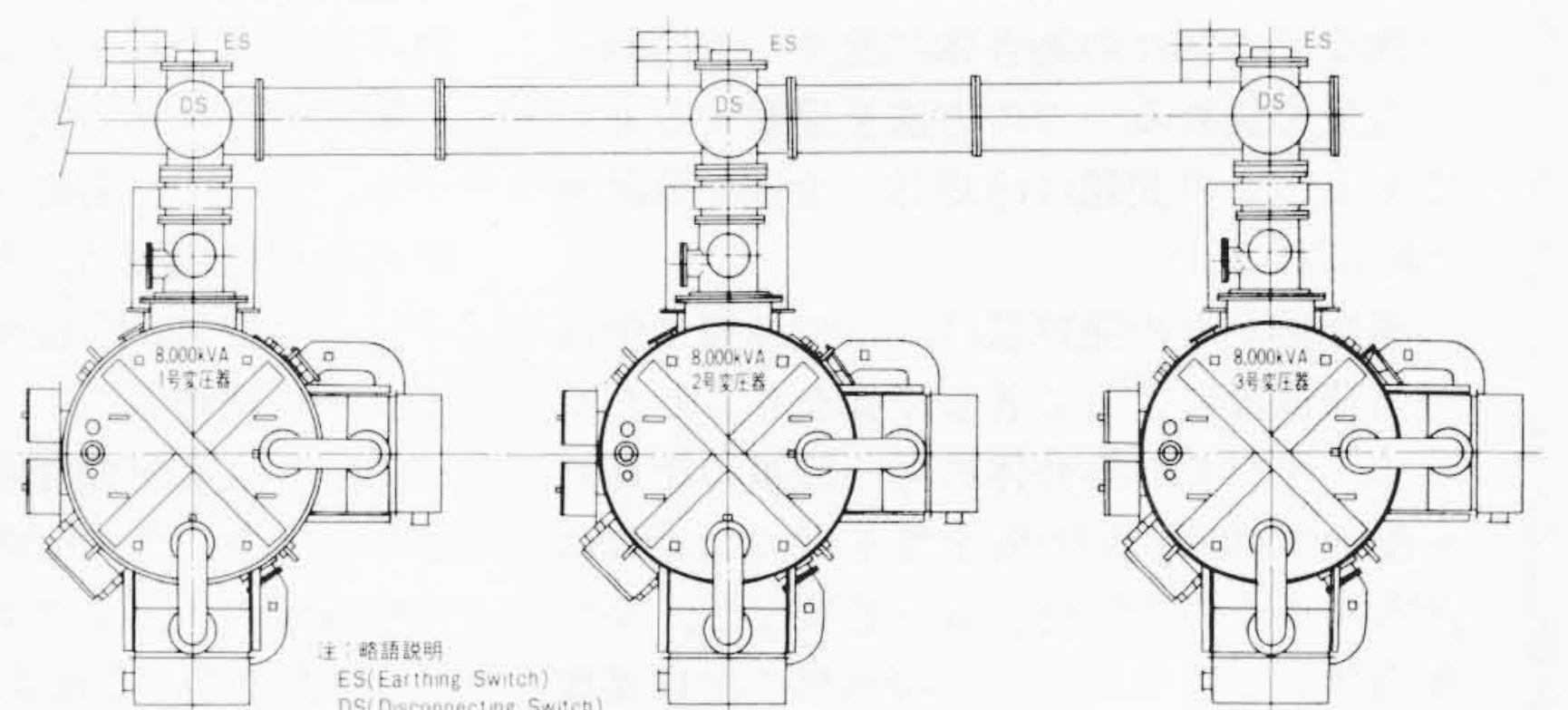


図10 SF₆ガス絶縁変電所配置例 単相器3台をGIS直結形としている。三相器についても同様な配置が可能である。

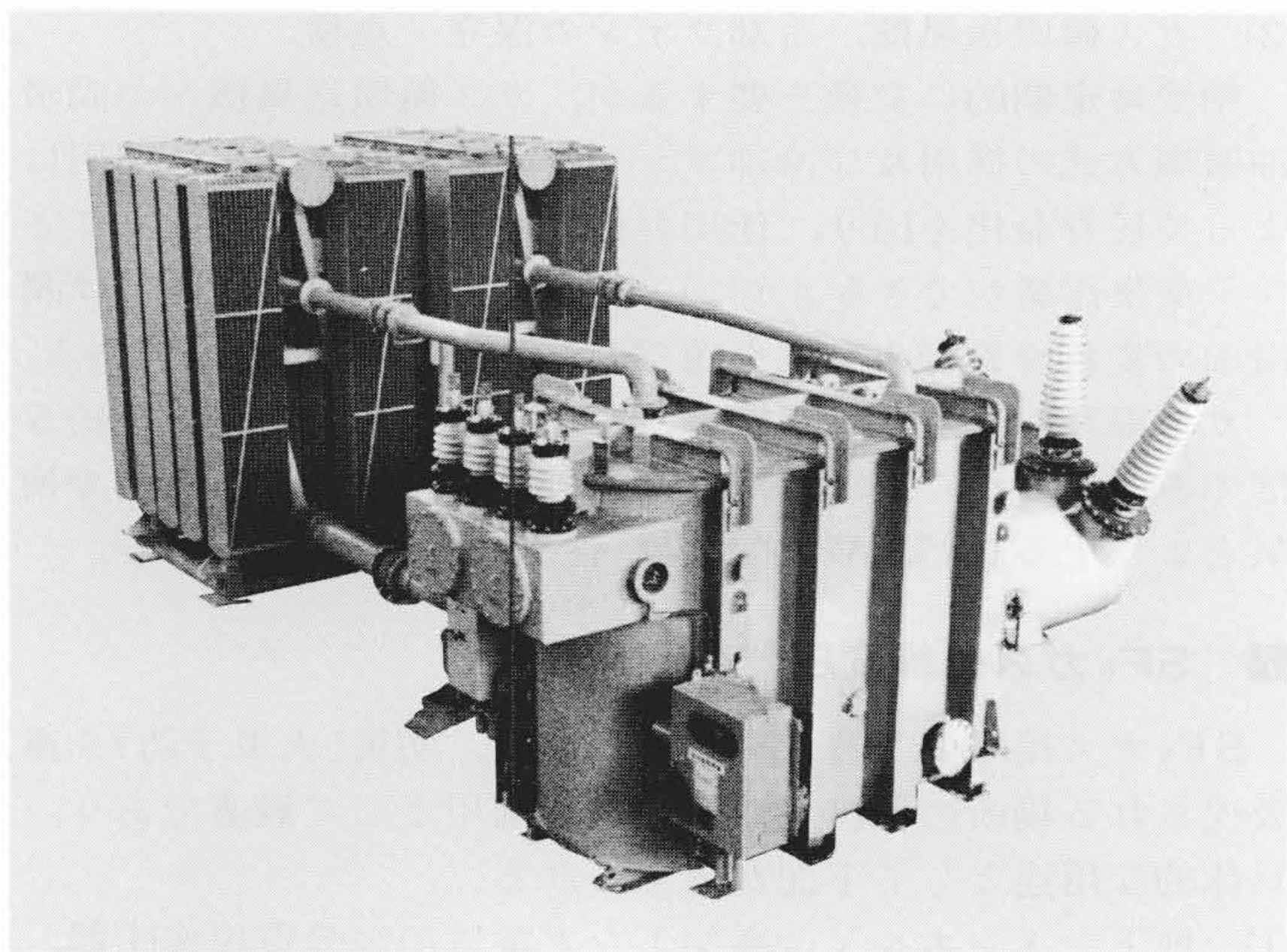


図11 三相10MVA, 66/6.6kV SF₆ガス絶縁変圧器 新幹線高架下に設置され、住宅地域に隣接するので放熱器別置形の送ガス自冷式として騒音低減を図った。

燃化を図り、騒音低減のため放熱器別置形の送ガス自冷式としている。これらの適用例では、いずれも二次側系統にH種モールド変圧器が採用され、SF₆ガス絶縁とモールド固体絶縁の組み合わせによって、防災形の無人変電所を実現している。

8 結 言

以上、日立製作所でのSF₆ガス絶縁変圧器の開発と実用化について、技術的特長と適用例を含めその一端を紹介した。近年、電気機器の不燃化に対する要求はますます強まっており、不燃性、非爆発性で保守の容易なSF₆ガス絶縁変圧器は、GISの発展とあいまって更に需要が増加することが期待される。今後、更に新技術を開発するとともに納入品の運転実績を反映し、よりいっそうの信頼性向上、小形・軽量化及び機種種の拡充を図って需要家の期待に沿った製品としていく考えである。

終わりに、実用化に当たり、御指導、御援助をいただいた関係各位に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 昭和42年度における日立技術の成果、日立評論、50、1、13(昭43-1)
- 2) 白根、外：SF₆ガス中複合絶縁構造の雷インパルス絶縁特性、電気学会東京支部大会、248(昭56)
- 3) 上野、外：140号SF₆ガス絶縁変圧器、電気学会東京支部大会、247(昭56)
- 4) 上野、外：66kV単相8MVA SF₆ガス絶縁変圧器、電気学会全国大会、618(昭58)

したもので、V結線による運転を可能としている。GIS直結形SF₆ガス絶縁変圧器の採用によって、消火設備や防火壁を軽減し、変電所全体の不燃化とコンパクト化を図っている。なお、本変圧器は運用面での信頼性向上のため、冷却系統を二重化し、一系統だけで100%負荷運転を可能としている。

図11に三相10MVA, 66/6.6kV SF₆ガス絶縁変圧器を示す。本変圧器は新幹線高架下の電鉄用変電所に設置され、住宅密集地に隣接していることから、SF₆ガス絶縁変圧器により不

論文抄録

高速増殖炉の炉内冷却材流量配分計画法

日立製作所 織田村元視・金戸邦和・他1名
電気学会論文誌 102(B)-11, 747~752(昭57-11)

原子炉は核反応により発生する熱を取り出す装置であるが、その熱は冷却材と呼ばれる流体により炉外へ移送される。沸騰水型原子炉では水が、また高速増殖炉では液体ナトリウムが、冷却材として用いられる。冷却材の炉心全体での総流量は、原子力プラントの発電出力や炉心出入口温度差などから決められる。

本論文は、高速増殖炉(以下、高速炉と略す。)を対象として、冷却材の総流量は与件とし、炉内の燃料集合体やブランケット集合体などの個々の集合体に流すべき冷却材の流量を決める一つの方法を提案するものである。この問題は冷却材の流量配分計画と呼ばれる。

集合体からの発熱量は、その種類や炉内の装荷位置によって著しく異なる。したがって、すべての集合体に同一流量の冷却材を配分すれば、炉の安全性を保つためには非常に多くの冷却材流量を必要とし、かつ集合体ごとにその温度や冷却材の出口温度

が大きく異なる。一方、集合体ごとの温度を一様にしようとするれば、集合体ごとに冷却材の流量を変える必要がある。ところで、集合体の中を流れる冷却材の流量は、集合体の下部にあけられる穴の径や個数で決まる。したがって、流量の異なる集合体が多くなると、その穴のあけ方が増え、集合体の誤装荷や製作費の上昇を招き、好ましくない。

以上の諸点から、本論文では次のような流量配分計画を構成する方法を述べる。炉内の集合体を幾つかの群に分け、同一の群に属す集合体には同一流量の冷却材を配分する。そして、各群を構成する集合体及びその冷却材流量は、燃料被覆管のホットスポット温度(以下、温度と略す。)が最低となるように決める。

上記の流量配分計画は、「配分の群数を固定したとき、他のどのような計画よりも燃料被覆管のホットスポット温度が低く、しかも群数が多くなれば、更に温度が下がる。」

という性質をもつことが示される。本論文では、温度の評価式として実験近似式を用い、流量配分計画の構成で中核となる同一流量を配分すべき集合体群の決定には動的計画法を採用した。

本論文では、まず温度の評価式を提示し、次に温度が炉内で一様となる流量配分計画を示す。これは、集合体ごとに流量を変えた配分計画となる。続いて、集合体の群編成を用いた流量配分計画の構成法を述べる。ここでは動的計画法が中核となり、その計算法も具体的に示す。また、温度が最低になるなどの最適性の証明をも述べる。最後に、2種類の1,000MW(e)の高速炉に対する試算結果について述べ、方法の有効性を確認する。

なお、従来、流量配分は設計者の試行錯誤により決定されていたためか、本論文で述べるような最適化のアプローチはなされていない。