

変電所用超高压新形変圧器

New Type Power Transformers for Extra High Voltage Substations

近年、電力需要の伸び率は鈍化してきているが、一方、経済環境や社会環境の変化に伴い、変圧器の小形化・低損失化・環境調和などの要請はますます高まる傾向にある。

中武良二* Ryōji Nakatake
白坂行康* Yukiyasu Shirasaka

日立製作所では、これらに応じるためUHV(1,000kV級)変圧器製作のために開発したハイブリッド絶縁技術、鉄心の低損失化技術、補機損失低減効果のある高効率・低騒音冷却器の据付面積の縮小や消火設備の合理化が図れる高効率遮音板などを適用した変電所用超高压(187~275kV級)変圧器の新形シリーズを完成させた。

本稿は、この変電所用超高压新形変圧器シリーズの特長について紹介する。

1 緒言

近年、電力用変圧器に対して高度の信頼性はもとより、用地縮小化、低損失化、低騒音化などの要請がますます高まっている。

日立製作所ではUHV変圧器の開発を昭和50年から開始し、各種モデルから実器プロトタイプに至る一連の研究開発を進めてきた。これにより、従来の絶縁に比べて20%以上の絶縁寸法縮小を可能とするハイブリッド絶縁技術を開発し、UHVへの第1ステップとして輸出向け800kV、805.5/3MVA変圧器ほかに適用してきた。

更に、本絶縁技術を適用し並列巻線数を低減した国内向け500kV、1,500/3MVA変圧器を試作し、絶縁破壊試験により信頼性を確認し、我が国最初のUHV応用500kV、1,000/3・1,500/3MVA変圧器を製作、納入した^{1)~3)}(図1)。

引き続き超高压変圧器への適用拡大のため、275kV試作器で絶縁破壊試験を行ない絶縁裕度を確認した。

超高压変圧器は一般に三相器であり、絶縁構造合理化だけでは、小形化・低損失化には不十分である。

日立製作所では、新材料(Hi-B、薄板材)に適した鉄心加工

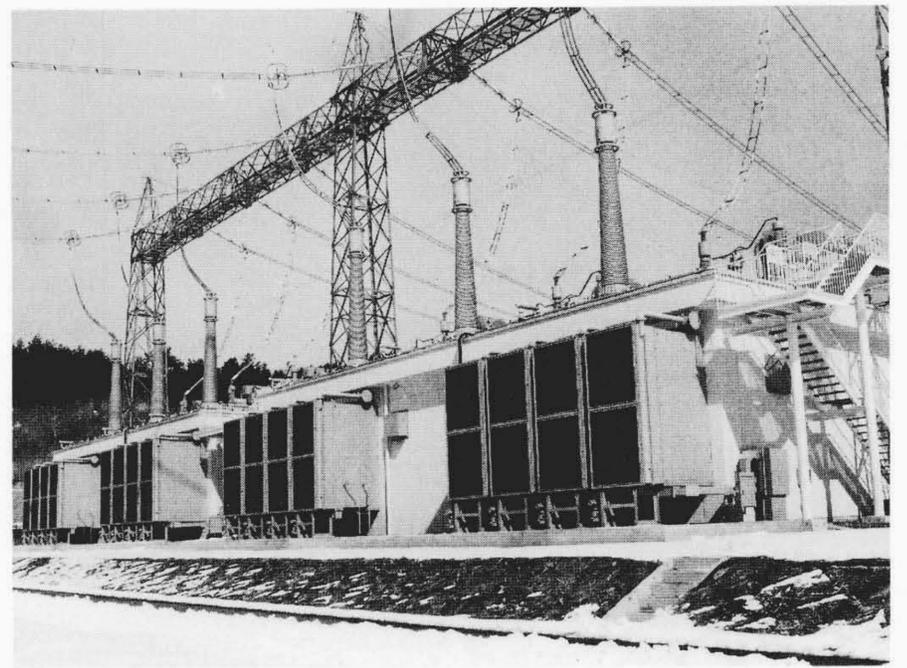


図1 ハイブリッド絶縁500kV単巻変圧器 中部電力株式会社信濃変電所納め500/275kV、1,000MVA単巻変圧器2バンクを示す。従来、1相当たり巻線二組みが並列で構成されたものが、一組みの巻線となっている。

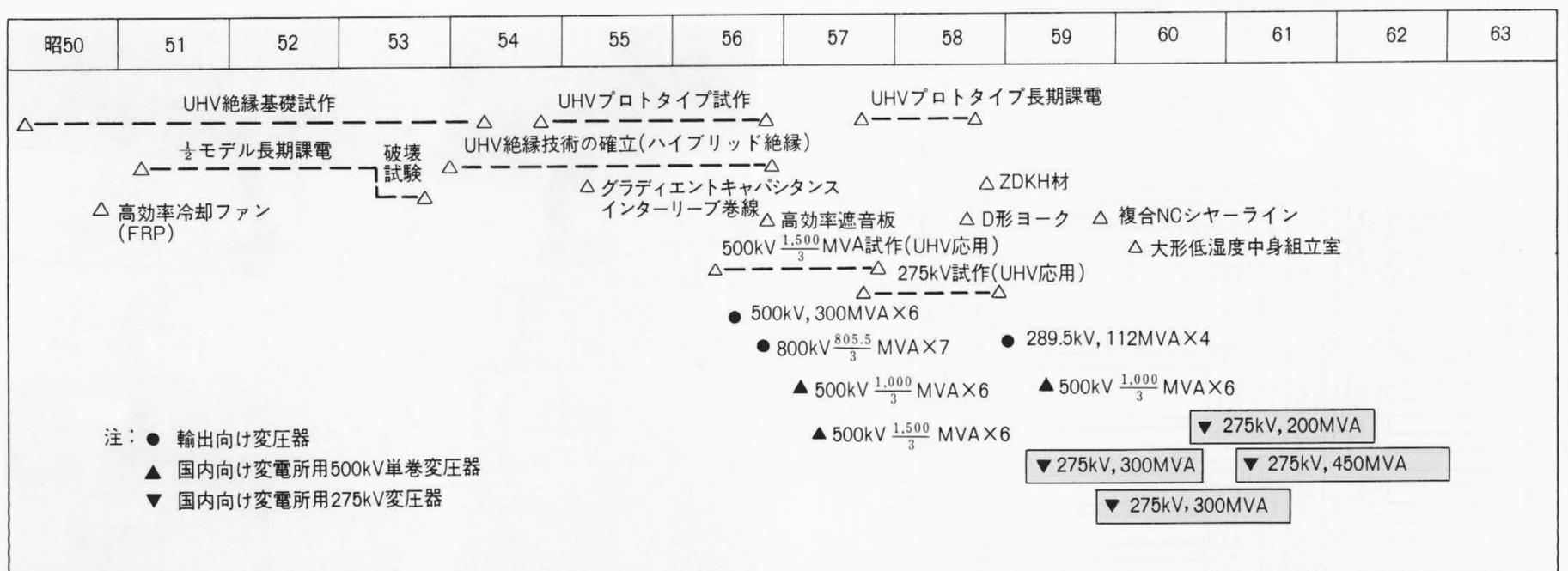


図2 変電所用新形変圧器シリーズ開発の経緯 275kV、200~450MVA変電所用新形変圧器が製作されるまでの開発経緯を示す。

* 日立製作所国分工場

法、構造の研究を進め³⁾、また低騒音化のための新構造である高効率遮音板の開発を進めてきた⁴⁾。図2に、これらの開発の経緯を示す。

これにより、輸出向け289.5kV、112MVA変圧器を製作し、また国内向けとして、275kV、200、300⁵⁾、450MVA変圧器を製作、納入した。

以下、変電所用超高压新形変圧器の概要について述べる。

2 超高压新形変圧器の基本技術

2.1 巻線及び絶縁

ハイブリッド絶縁技術(油げき細分割と紙充てん絶縁を有効に組み合わせた絶縁)^{1)~3)}を適用し、(1)巻線高さの低減~鉄機

械化~巻回数低減、(2)巻線占積率の向上、(3)主絶縁寸法の縮小、(4)端部絶縁寸法の縮小などにより小形・低損失化を図っている。

小容量器には、グラディエントキャパシタンスインターリーブ巻線³⁾を採用し、大容量器には、極細転位電線を用いたC.C.(コンデンサカップリング)シールド巻線を採用している。

これらの巻線の電位振動解析・電界解析はUHV変圧器の開発によって得られた高精度の解析技術により詳細に検討されており、その一例を図3及び図4に示す。

また、主巻線だけでなくタップ巻線についても各種モデルを試作し、最適構造を検討するとともに絶縁破壊試験により、信頼性を確認している。図5は絶縁試験中の275kV試作器を示す。

本試作器の成果及びグラディエントキャパシタンスインターリーブ巻線を適用した輸出向け289.5kV変圧器を図6に示す。

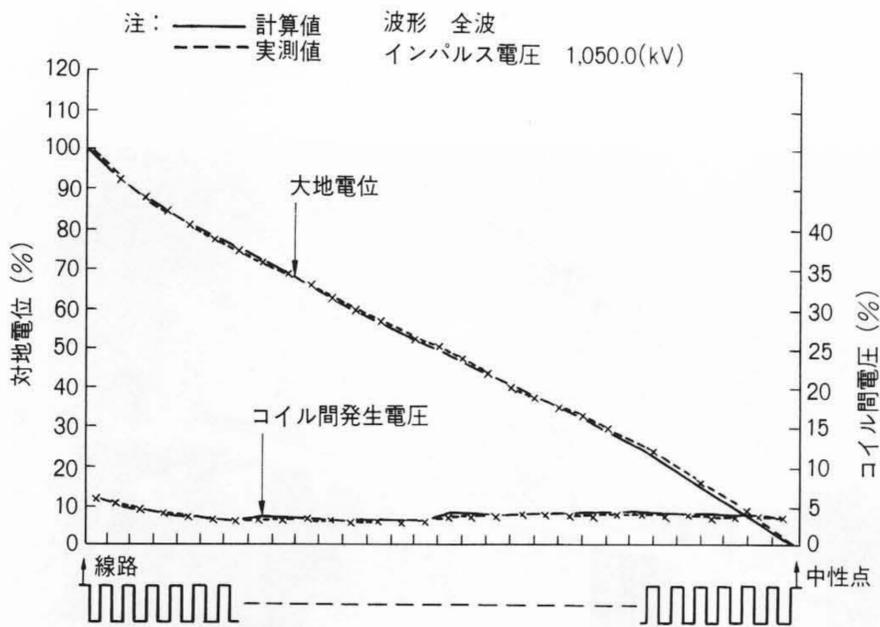


図3 電位振動解析例 電子計算機により、多巻線を考慮した詳細な電位振動解析が可能となり、インパルス電圧印加時の電位分布計算の精度が向上した。



図5 絶縁試験中のハイブリッド絶縁275kV試作器 ハイブリッド絶縁技術を適用し、275kV巻線巻通し構造、各種タップ巻線構造を試作して、絶縁破壊試験を実施した。

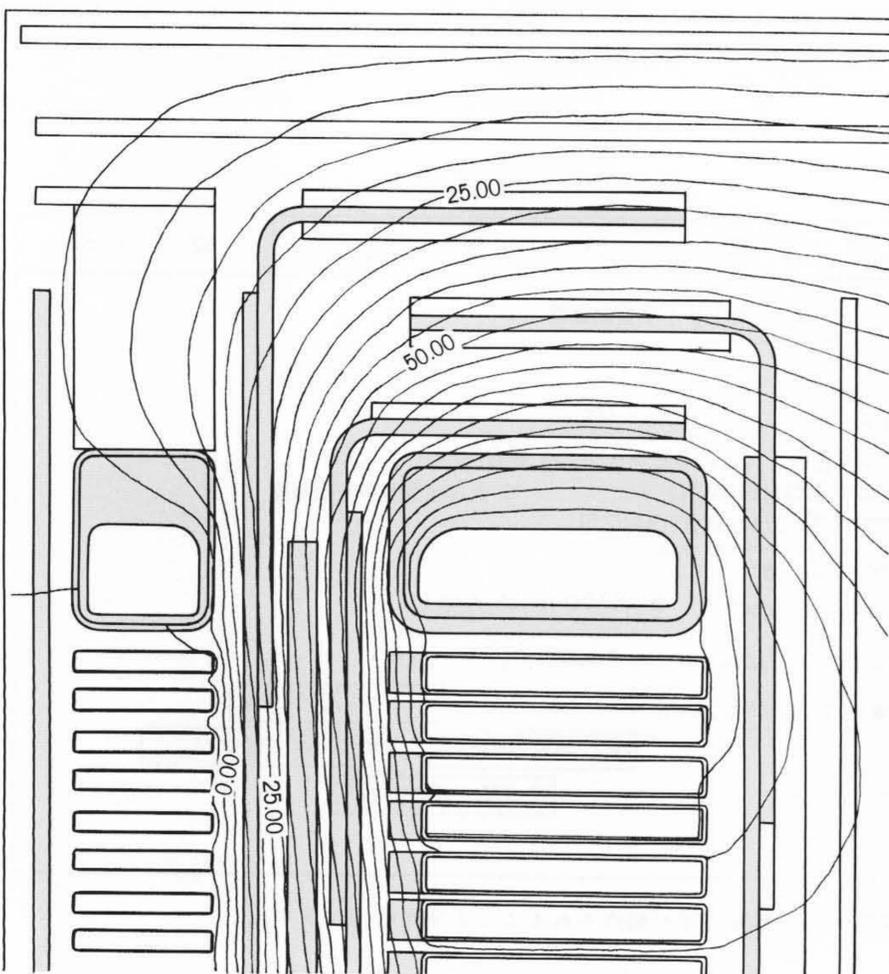


図4 ハイブリッド絶縁適用変圧器の電界解析例 電子計算機による電界マッピングを行ない、各部の電界強度を確認している。

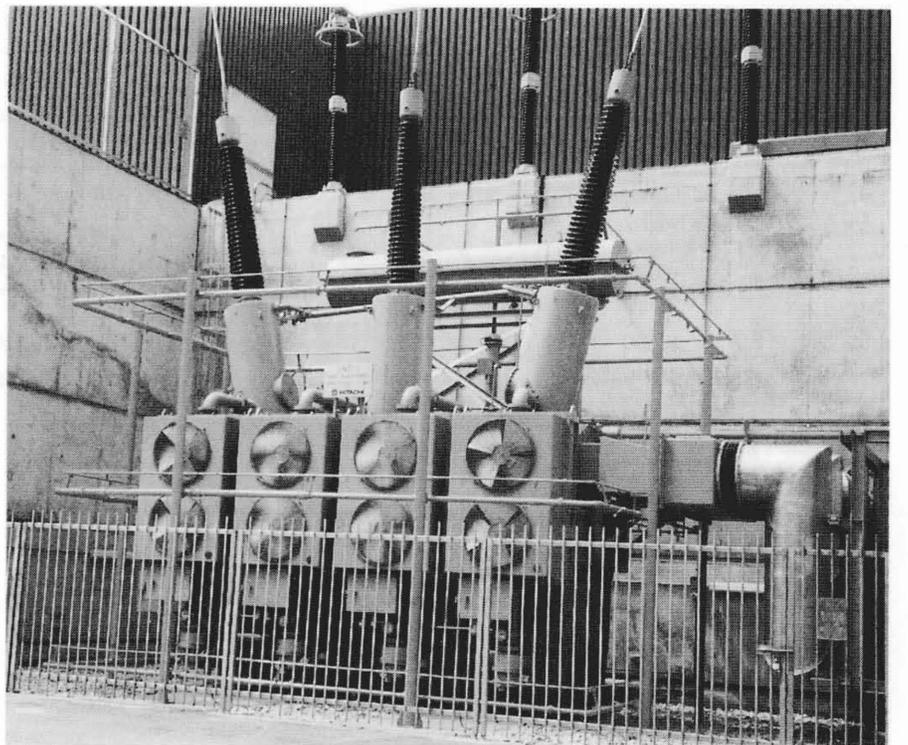


図6 マレーシア、NEB納め289.5kV、112MVA変圧器 巻線の小型化に加え、新構造、新材料の採用により鉄損が大幅に低減している。

2.2 鉄心

鉄心は、巻線の小形化によって得られた余裕空間を利用して、ヨーク断面構造を改良したD形ヨークを採用するとともに、高精度加工及び低劣化加工を可能とする複合NC(数値制御)シヤーライン(図7)の導入により、鉄損及び振動・騒音の低減を図っている。

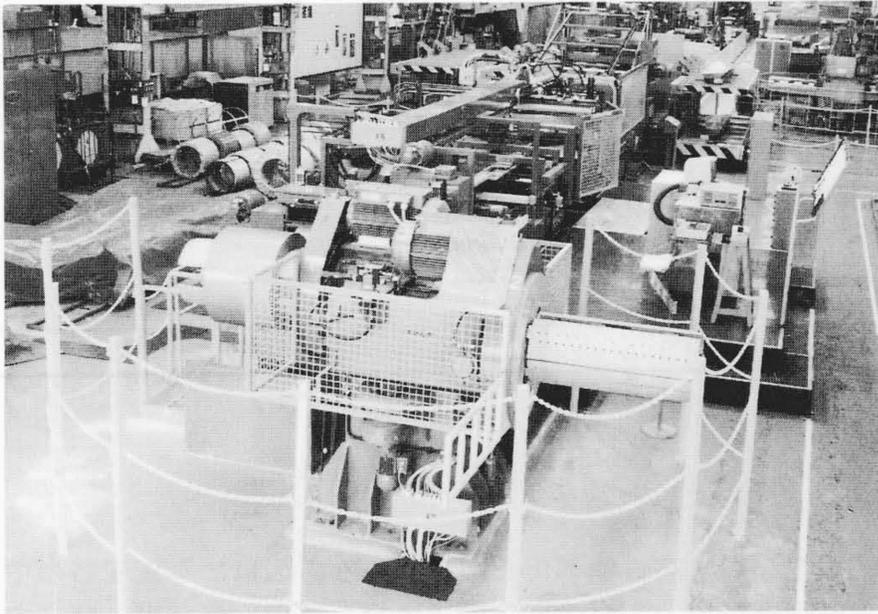


図7 複合NC(数値制御)シヤーライン Vノッチ切断, 高精度加工及び低劣化加工が可能となり, 鉄損, 振動・騒音の低減をもたらした。

また、電磁鋼板表面のレーザ処理により低損失化した新材料(ZDKH材)や、V接合、接合面を階段状に形成するステップラップ方式などの採用により、更に鉄損低減が期待できる。

2.3 高効率遮音板

高効率遮音板は図8に示すように、薄鋼板と厚鋼板をスポット溶接により一体とした複合板と枠状の付加質量で構成され、直接剛構造のタンク補強材に溶接するもので、タンク補強材から伝搬する固体伝達振動及びタンク側壁から伝搬する空気伝搬振動を大幅に低減できる。

日立製作所では、この高効率遮音板を開発当初からこれまで大容量分路リアクトルをはじめ、75ホン級650MVA変圧器などに適用し、従来防音壁付きであったものを不付きとして製作、納入している。

3 新形変圧器シリーズ

以上の技術に加えて、本体カバーによる一体輸送構造、高効率・低騒音冷却器、適切なシールド配置や各種転位電線の採用による漂遊損失低減などの新技術を総結集し、275kV級新形変圧器のシリーズを完成した。表1に、その納入実績と主な仕様を示す。

図9は300MVA変電所用変圧器を比較したもので、新形変圧器は70ホン級の騒音仕様に対し鉄板防音壁を高効率遮音板とすることにより、鉄心磁束密度を下げることなく防音壁不付きとした画期的な低騒音変圧器である。このことにより基

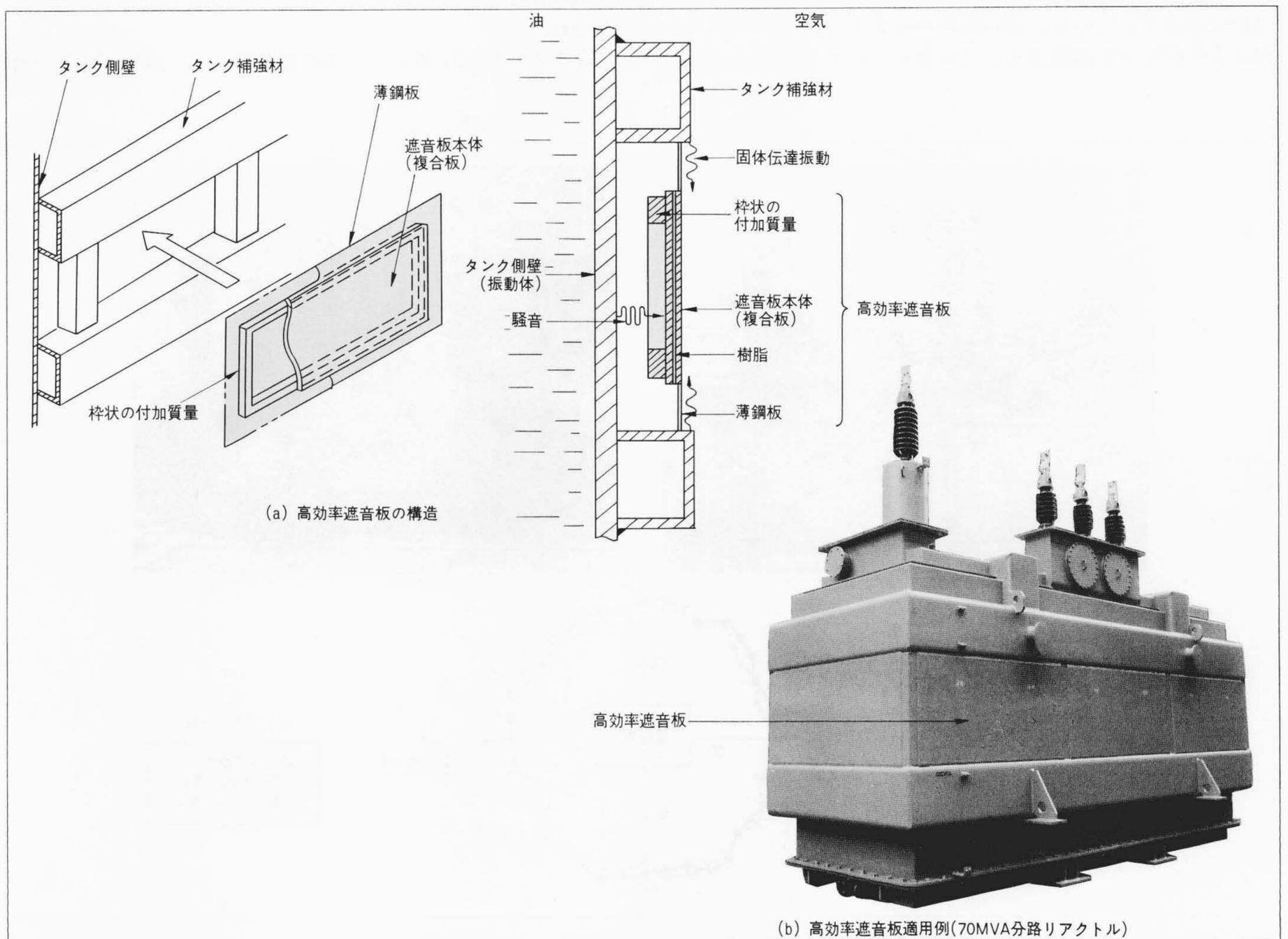


図8 高効率遮音板 高効率遮音板の構造と70MVA分路リアクトルへの適用例を示す。

表1 新形変圧器シリーズの完成 小形・省エネルギーの新形変圧器は、200MVA、300MVA及び450MVA変圧器の納入実績によりシリーズ化を完成した。

項目	シリーズ								
	200MVA			300MVA			450MVA		
納入先	東北電力株式会社 上北変電所			東北電力株式会社 須賀川変電所 宮城変電所			東京電力株式会社 北東京変電所		
形式	屋外用送油風冷式負荷時タップ切換変圧器								
周波数	50Hz								
巻線	一次	二次	三次	一次	二次	三次	一次	二次	三次
容量 (MVA)	200	200	80	300	300	90	450	450	135
電圧 (kV)	F287.5~ R268.8~ F250	154	31.5	F287.5~ R268.8~ F250	154	31.5	F302.5~ R275~ F247.5	147	63
パーセントインピーダンス	11%			16%			14%		
騒音	70ホン			70ホン			65ホン*		

注：* 鉄板防音壁付き

礎面積を40%低減するとともに、据付工程の短縮、防音壁内消火設備の省略や保守性の向上が図れた。また、全損失について20%の低減を達成している。

図10に200MVA新形変圧器を示す。本変圧器も70ホンで防音壁不付きとしたもので、本変圧器の実績から200MVA変圧器を65ホン級でも防音壁不付きで製作できる見通しを得た。

表1に示す450MVA新形変圧器は、輸送限界から単相3台組合せ構造としている。巻線はパーセントインピーダンス仕様により高圧2分割構造としているが、ハイブリッド絶縁の

適用で小形・高占積率化を図っている。図11に本変圧器の中身構造を示す。また、高効率遮音板を採用した結果、騒音実測値は防音壁不付きで68.5ホン、鉄板防音壁付きで59.6ホンであった。このことから、鉄板防音壁と冷却器特性の改善により、55ホン級450MVA鉄板防音壁付き変圧器の製作も可能であると言える。また、450MVA三相変圧器でも、70ホン級の騒音仕様に対して防音壁不付きとすることができる見通しを得た。

以上の新形変圧器シリーズの完成により、変電所用超高压

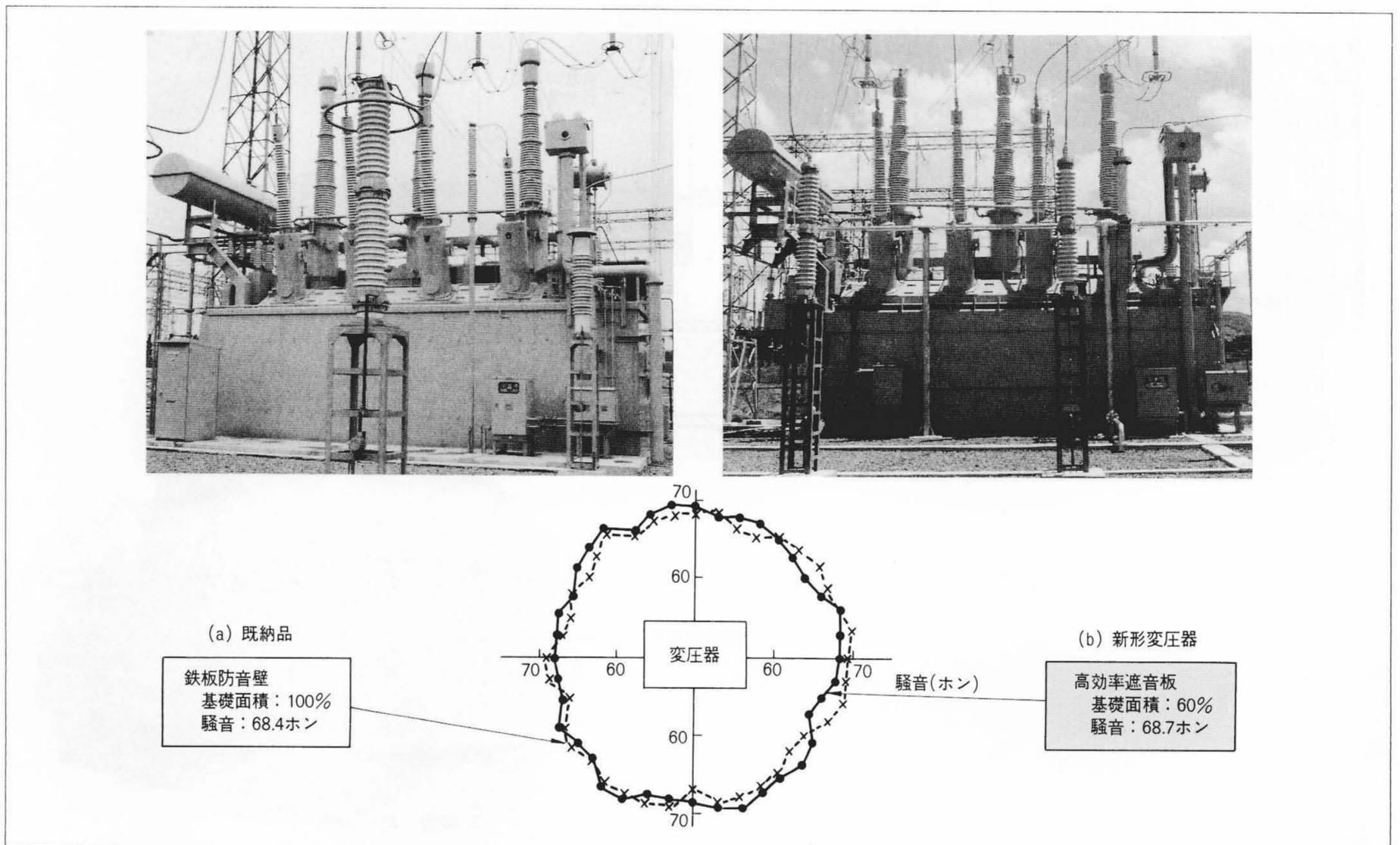


図9 70ホン級275kV、300MVA変電所用変圧器の合理化例 高効率遮音板を用いた新形変圧器は、同一仕様の既納品に用いていた鉄板防音壁を省略でき、小形化、据付工程短縮、消火設備の合理化及び保守性の向上が図れた。

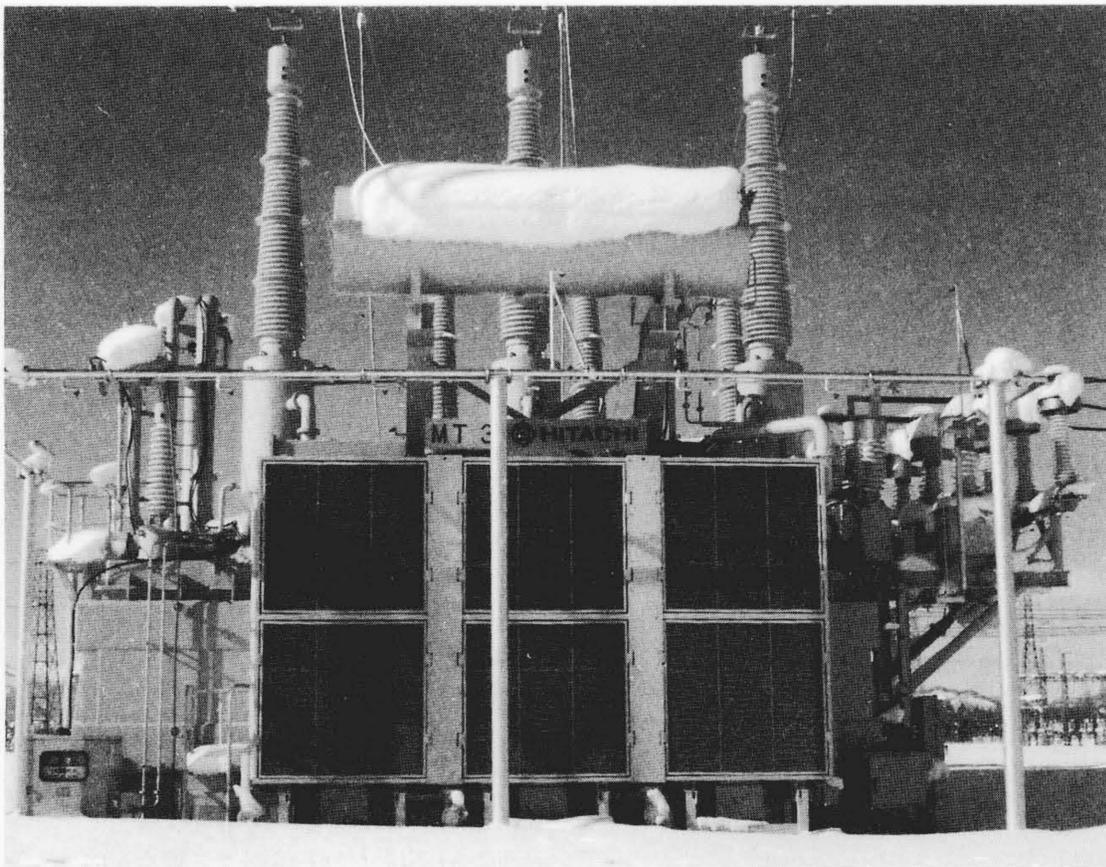


図10 275kV, 200MVA新形変圧器 東北電力株式会社上北変電所納め 268.8kV, 200MVA新形変圧器を示す。

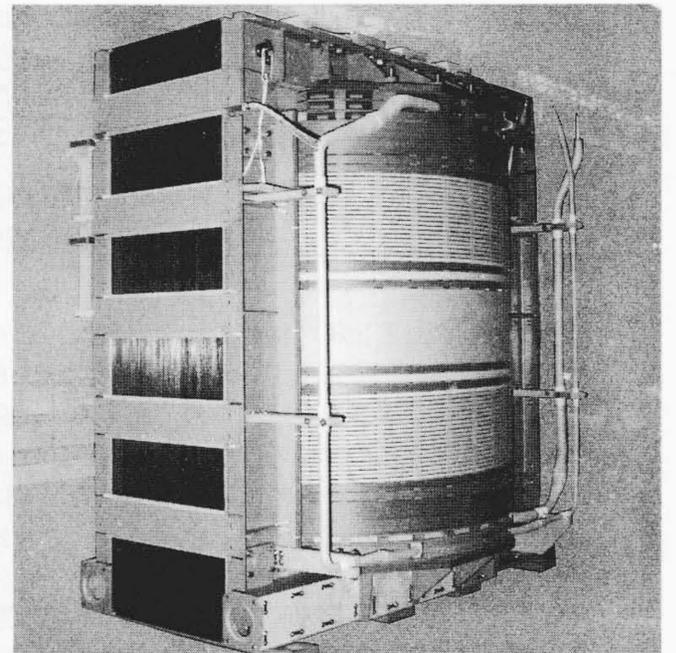


図11 450MVA変圧器の中身構造(单相3台組合せ)ハイブリッド絶縁技術を適用し, 小形・高占積率化を図った。

		コンクリート防音壁	高効率遮音板+B形鉄板防音壁	B形鉄板防音壁	高効率遮音板					
50Hz	200MVA									
	300MVA									
	450MVA									
60Hz	200MVA									
	300MVA									
	450MVA									
騒音仕様ホン		45	50	55	60	65	70	75	80	85

注：*ラジエータを用い, 送油自冷式とする場合あり。

図12 騒音仕様による新形変圧器防音構造 防音構造の合理化により, 用地縮小化, 設備合理化などの要求に応じることができる。

変圧器の防音構造は図12に示すように大幅な性能向上が可能となった。

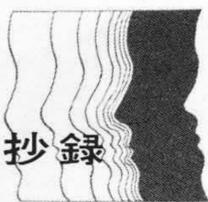
4 結 言

以上述べたように, 日立製作所ではハイブリッド絶縁技術, 鉄心の低損失化技術, 高効率・低騒音冷却器, 高効率遮音板など各種の新技术を総結集し, 変電所用超高压新形変圧器を完成した。超高压変圧器は地域への電力供給の中心として, 今後ますます高い信頼性や環境調和が要求される。今後は更に, 輸送, 予防保全, 寿命診断などを含めた幅広い新技术を開発し, 時代の要求に沿うよう努力する考えである。

終わりに, 終始, 御指導・御援助いただいた電力会社の関係各位に対し, 厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) E. Mori, et al.: Development of EHV Transformers Based on UHV Technique. Hitachi Review. 31, 3, 147~150 (1982)
- 2) K. Okuyama, et al.: Development of a Prototype UHV Transformer and its Application to 500kV Transformers. IEEE Transactions on P. A. S. PAS-103, 9, 2545~2552 (1984-9)
- 3) 星, 外: 電力用変圧器の技術動向, 日立評論, 65, 5, 315~320 (昭58-5)
- 4) 前島, 外: 最近の変圧器低騒音化技術, 日立評論, 67, 2, 55~60 (昭60-2)
- 5) 中武, 外: 鉄板防音壁不付70ホン級300MVA変圧器完成, 昭和60年電気学会全国大会, 講演番号721 (昭60-4)



Al-SiクラッドAlインサート材によるセラミックスと金属の接合

日立製作所 河野顕臣・山田俊宏・他1名

日本金属学会誌 49—10, 876~883 (昭60-10)

セラミックスと金属の接合では、両者の熱膨脹差に起因して発生する熱応力が接合部強度に大きな影響を及ぼすため、熱応力の緩和が重要な技術課題の一つとなっている。このため、数多くの熱応力緩和法が考えられ、一部は実用に供されている。

ここで、熱応力緩和法の一つとして、セラミックス、金属間に軟質材料(インサート材)を挿入する方法を考え、同時に軟質材料としてAlを選んだ。すなわち、Alは活性で、かつ軟質であるためセラミックス・金属接合用のインサート材の一つとして有望と考えた。

本報では、Alをインサート材とした拡散接合に着目し、非酸化物系セラミックスと金属との拡散接合の可能性を検証することを目的に、接合条件、接合材の曲げ強度及び熱応力について検討したものである。

本研究では、セラミックスには常圧焼結窒化ケイ素(Si_3N_4)、炭化ケイ素(SiC)及び

サイアロン、また接合相手材として、WC-6%Co合金(超硬)、Fe-29%Ni-17%Co合金(コパール)及びCr-Mo鋼(鋼)を用いた。インサート材には、心材のAl合金の両表面にAl-10%SiをクラッドしたAl-Siクラッド材及び純Alを用いた。接合実験は、真空ホットプレスを用い、 $2 \sim 4 \times 10^{-2}$ Paの真空雰囲気で行なった。接合部の強度は、4点曲げ試験(試験温度:室温から723K)により求めた。また本報では、セラミックス・鋼接合材での熱応力をX線法により検討した。すなわち、セラミックス・鋼接合材の鋼側表面部の残留応力をX線応力測定装置を用いて測定した。

Al-Siインサート材による接合では、インサート材のクラッド層だけが溶融する接合温度範囲(873~893K)で各種セラミックスと金属との接合が可能で高い接合部強度が得られた。一方、純Alインサート材では、Al-Siインサート材を用いた場合に比べて曲

げ強度は低く、Al-Siインサート材のクラッド層(表皮層)を溶融させることが必要の条件であることを明らかにした。

接合材の曲げ強度は、セラミックスと相手材との熱膨脹係数差が大きくなるにつれ低下し、熱応力の影響が認められた。一方、Al-Siクラッドインサート材の厚さの増加とともに曲げ強度は向上した。これは、X線法による残留応力測定結果から、軟質なAlの熱応力緩和によることと考えられた。

これらの結果から、Al-Si合金をクラッドしたAlインサート材を用いる方法は、セラミックスに対するAlの強い反応性に着目して、表面のAl-Si層だけを溶融して接合を容易にするとともに、接合後の熱応力を溶けないAl層(心材)の塑性変形能を利用して緩和を図れることが明らかとなった。

また、高温曲げ試験により、セラミックス・金属接合材の曲げ強度は573Kまで低下しないことが確認された。

完全両立性を有するEDTV信号方式

—その2 動き適応特性を有する原理モデルの試作—

日立製作所 平野裕弘・吉木宏・他2名

テレビジョン学会誌 39—10, 891~897 (昭和60-10)

現行テレビジョン方式と完全に両立性のあるEDTV(Extended Definition TV)方式の原理モデルを試作し、機能確認及び視覚評価を行なった。

垂直解像度向上のため、テレビジョンカメラ、受像機には走査線数525本、60フレーム、順次走査の機器を使用し、送信側では順次走査からインタレース走査、受信側では走査線補間により順次走査に変換する。

輝度信号の高域成分(4.2MHz以上)は、高精細情報として現行テレビジョン信号帯域内(4.2MHz以下)に多重して伝送する。多重には幾つかの方法があるが、実験ではF2方式(変形した色副搬送波周波数 f_{sc} で周波数シフトし、0.6~3.4MHz帯に多重)を取り上げた。

信号処理はすべてデジタルで行ない、標本化周波数は、多くのテレビジョン機器を考慮し、 $4f_{sc}$ 、量子化ビット数は8に設定した。

送信側の走査変換、輝度信号 Y_L 、色信号

C 、高精細信号 Y_H' の多重、受信側の Y_L 、 C 、 Y_H' 分離、走査線補間は、動きに応じて特性を変化させる適応処理を行なった。動きの検出は、送信側の Y_L 信号で行ない、3種類(静止、ゆっくりした動き、速い動き)のモードで行なった。そして、モード情報は画像の第1走査線に挿入し、受信側の適応処理もこの情報で制御した。なお、モードの判定は、暫定的にフィールド単位で行なった。

送信側、受信側をアナログ信号で結び、再生実験を行なったところ、静止画像では、高精細情報の多重、折返しひずみのない走査変換などの信号処理により、現行テレビジョン信号帯域幅でも水平560TV本、垂直400TV本程度の解像度が得られた。また、EDTV信号を現行モニタで受信した場合、至近距離では高精細情報が下方に流れるような妨害として認められるが、視距離 $4H$ では妨害は認められるがあまり気にならないことを確認した。

一方、動画像に対しては、一部パラメータの特性不足のため、垂直解像度の改善効果は劣るものの、動き適応処理により、ほぼ良好な画像が再生できた。そして、「時間-垂直」周波数領域の帯域制限の結果、現行テレビジョン式に比べ、クロスカラーなどの画質妨害も軽減できた。

以上、試作装置による評価実験の結果、EDTV方式の有効性を確認できた。

なお、EDTV方式の受信側の構成は、高精細情報の再生機能を除けば、今後、普及していくと思われるIDTV(Improved TV)と共通の部分が多い。したがって、最終的にはIDTVの受像機に数パーセントのコストアップでEDTVの受像機も実現可能と思われる。

今後の課題は、動き適応処理の精度向上、視覚特性に適したパラメータの最適化、伝送系、記録系など現行テレビジョンシステムとの適合性の検証などである。