

大容量変圧器の技術動向

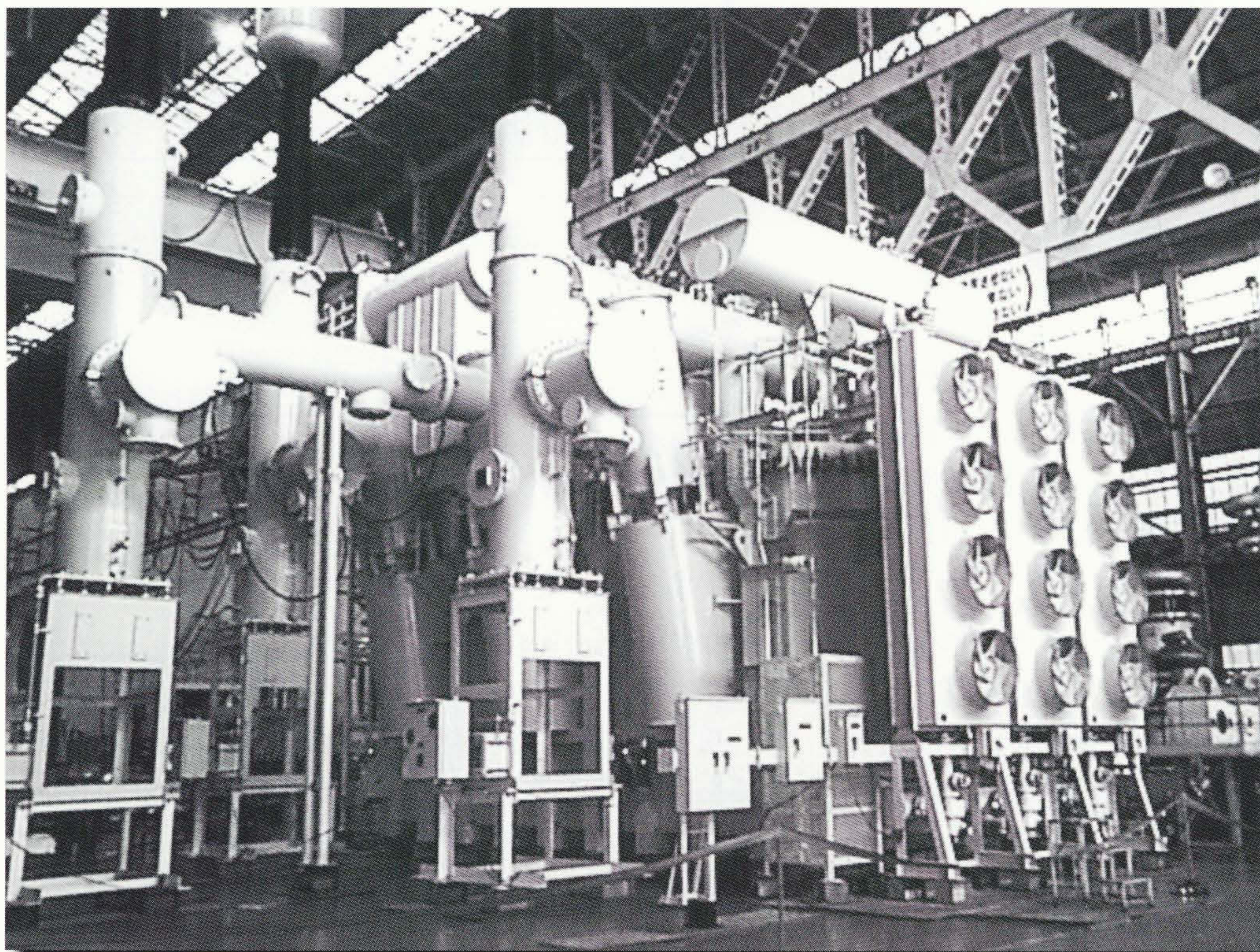
Technical Trends of Ultralarge-Capacity Three-Phase Transformers

天野直樹 Naoki Amano

横山雅一 Masakazu Yokoyama

河村憲一 Ken'ichi Kawamura

小島啓明 Hiroaki Kojima



281.25 kV (525 kV) 1,060 MVA二重定格電圧変圧器の場内試験の様子

二次側は電力ケーブルに接続されるが、場内試験では試験用ブッシングを取り付けて試験を実施する。試験は、まず525 kV結線状態で実施後、結線を切り替えて281.25 kV結線状態で実施した。

電力会社を取り巻く種々の環境の変化から、大容量変圧器に対するニーズも変わってきている。例えば、系統運用上の理由から電圧定格を二重化する計画や、輸送費削減、現地据付けスペース縮小を目的とした分解輸送方式計画などが増加してきている。また、機器の延命化、過負荷運転など、変圧器運用条件が過酷化するにしたがって、日常の機器監視システムが注目されつつある。

日立製作所は、これまで常に、コンピュータ解析技術を向上させ、試作による検証試験を実施し、時代のニーズに対応した高効率・大容量変圧器の開発を進めてきた。この成果を生かし、このたび、東京電力株式会社常陸那珂火力発電所納め281.25 kV (525 kV) 1,060 MVA二重定格電圧変圧器を完成させた。また、500 kV用分解輸送型変圧器の初号器として、中国電力株式会社智頭変電所納め500 kV 1,000 MVA分解輸送型変圧器を完成させた。

機器監視システムについても、最新の診断技術を取り入れて合理的な保守・支援を提案している。

1 はじめに

電力会社を取り巻くさまざまな環境の変化により、大容量変圧器に対するニーズも変わってきている。その結果、発電所用変圧器を二重定格電圧仕様で製作し、運用開始当初は低いほうの電圧で運用し、将来長距離送電をする際に昇圧して運用するといった計画が増加している。また、山間部の変電所などへの輸送条件に対応し、輸送費削減や現地組立時のスペース縮小を目的とした分解輸

送方式の導入も増えてきている。

一方、設備投資の抑制に伴って、変電機器を長期間安定して使用することが求められるため、日常の予防保全システムの充実が図られている。

ここでは、大容量変圧器の技術動向の例として、このほど開発した281.25 kV (525 kV) 1,060 MVA発電所用二重定格電圧変圧器と、500 kV 1,000 MVA変電所用分解輸送型変圧器、および予防保全システムに関連した最近の機器監視システムについて述べる。

2 日立製作所の大容量変圧器の技術変遷

日立製作所の変圧器の技術変遷を図1に示す。日立製作所は、1970年代に500 kV変圧器絶縁設計技術を確立した。これがUHV(Ultra High Voltage)絶縁設計技術に発展し、1993年のUHV実証器となって結実した。また、コンピュータ解析技術の向上により、鉄心内磁束分布解析による最適鉄心設計や、詳細磁界解析による高精度漂遊損失評価が可能になり、現在の低騒音・高効率変圧器技術が生まれた。

二重定格電圧変圧器としては、1973年に250/154(77)/22 kV 300 MVA変圧器を納入したのが最初で、大容量500 kVクラスでは、1994年に九州電力株式会社苓北発電所に225 kV(520 kV)730 MVA変圧器、220 kV(500 kV)250 MVA変圧器を納入している。

変電所用分解輸送変圧器については、1989年に現在の分解輸送技術に比較的近い手法を用いて220 kV 250 MVA分解輸送変圧器を納入し、2000年には500 kV変圧器としては初の500 kV 1,000 MVA分解輸送変圧器を完成させた。

3 大容量二重定格電圧変圧器の完成

3.1 仕様

東京電力株式会社常陸那珂火力発電所納め二重定格電圧変圧器の仕様を表1に示す。この変圧器の特徴は、二重定格電圧では容量が最大で、両電圧運用時の短絡インピーダンスが同一仕様となっていることである。

3.2 構造

この変圧器は高圧巻線を二分割構造としている。さらに、二つの高圧巻線を、281.25 kV結線時には並列使用し、525 kV結線時には直列使用する構成としてい

表1 281.25 kV(525 kV)1,060 MVA変圧器の仕様
二重定格電圧仕様の変圧器である。

項目	仕様
形式	屋外用三相導油風冷式
容量	1,060 MVA
電圧	一次 18.525 kV 二次 F287.5-R281.25-F275 kV (F550-F537.5-R525-F512.5 kV)
周波数	50 Hz
結線	一次 三角形 二次 星形
絶縁強度	一次 AC 50 kV LI 150 kV 二次 AC 330 kV LI 950 kV (AC 635 kV LI 1,300 kV)
短絡インピーダンス	14%(281.25 kVおよび525 kV結線とも)

注：略語説明
LI(LIWL; Lightning Impulse Withstand Level)

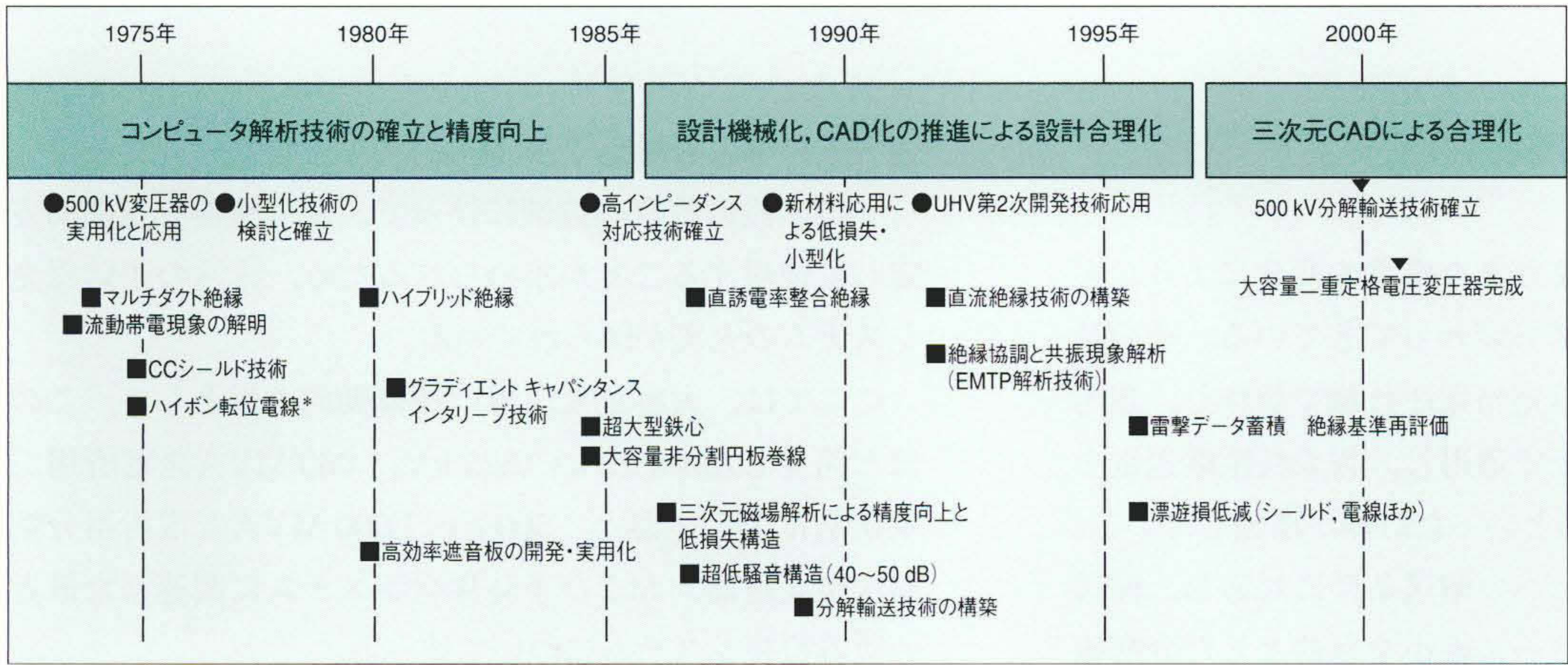
る。接続換えは内部リード線の切換によって行う。巻線構成を図2に示す。

3.2.1 鉄心

鉄心には従来の大容量変圧器で実績のある三相5脚鉄心を採用した。さらに、磁束の流れが均一となり、局部損失が集中しない接合方式を採用したほか、上下ヨークと側脚の断面積比を最適化した設計としている。

3.2.2 巻線

巻線は、内側から、タップ巻線、高圧巻線2、低圧巻線、および高圧巻線1の順に配置している。両電圧運用時に短絡インピーダンスを同一とするためには、両電圧運用時に電流分布を同一にする必要がある。そのため、281.25 kV結線時に高圧巻線1,2を並列接続した際、分流比がほぼ50%ずつになるように、高圧巻線1,2の間に低圧巻線を配置した。さらに、それぞれの高圧巻線と低圧巻線との間のインピーダンスがほぼ同一になるように、解析によって主間隙(げき)寸法を決定した。



注：略語説明ほか
CC(Condenser Coupling)
EMTP(汎用過渡解析プログラム)
*ハイボンは、Hitachi Self-bonded Wireの略称である。

図1 日立製作所の大容量変圧器の技術変遷
試作・モデル実験データの蓄積や、コンピュータ解析技術の向上を図り、高信頼性の変圧器を開発してきた。

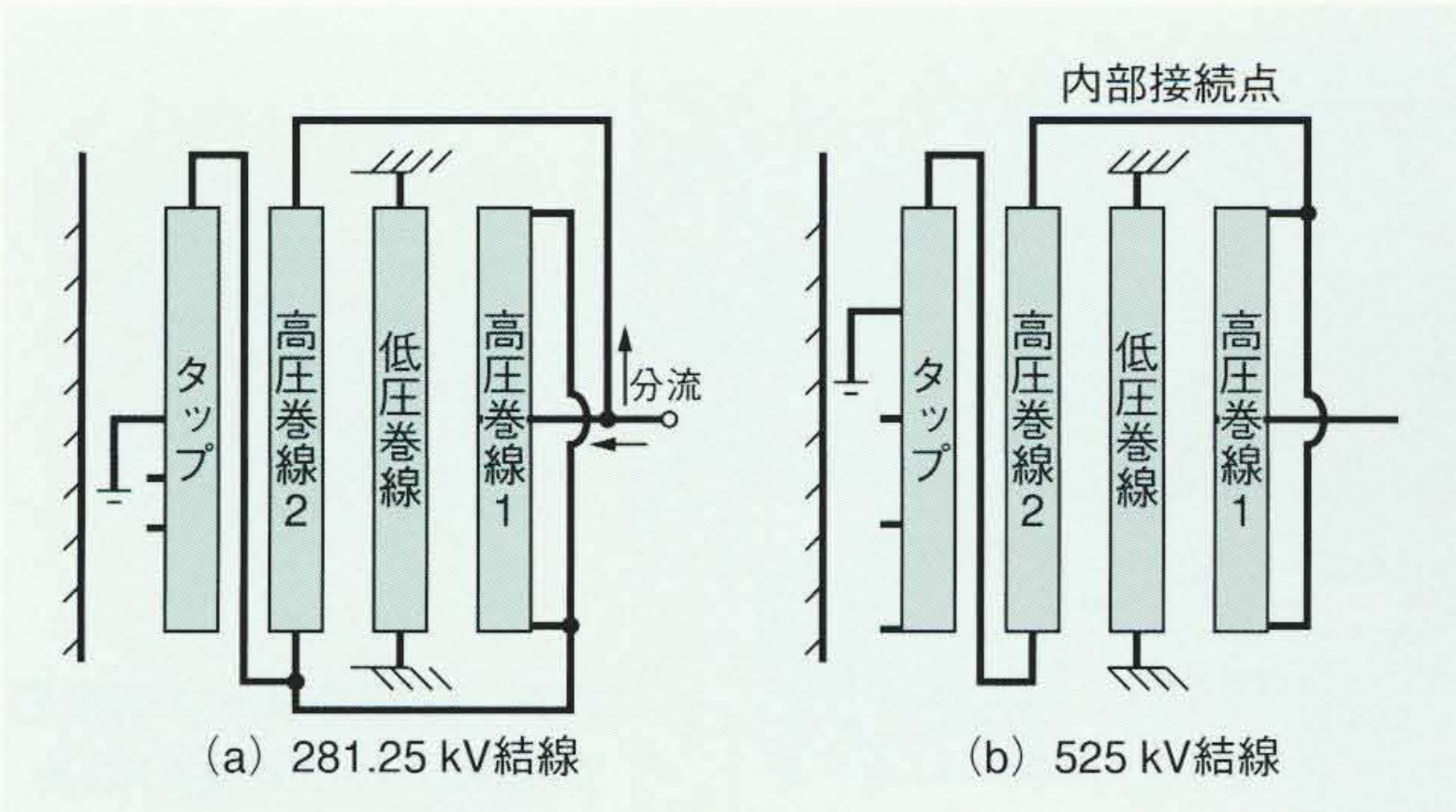


図2 二重定格電圧変圧器の巻線配置
281.25 kV結線時には高圧巻線1と2を並列接続し、525 kV結線時には高圧巻線1と2を直列接続することで分流比をほぼ50%ずつとしている。

高圧巻線の絶縁設計に関しては、EMTP解析用変圧器モデルを作成し、コイル間と内部接続点発生電圧の解析を実施した。また、印加波形に関しては、標準波だけでなく、長波尾波、減衰振動波、および系統解析による変圧器線路端発生電圧波形での解析を実施し、絶縁信頼性を確認した。

低圧巻線は多数の並列転位電線から成るヘリカル巻線とし、解析によって最適な転位法を求め、循環電流を抑制した設計とした。

3.3 信頼性検証

この変圧器の信頼性を検証するため、製作段階で高圧巻線並列使用時の分流比を確認し、また低電圧サージ印加による気中電位分布測定を行い性能上の問題がないことを確認した。本試験では、525 kV結線で試験した後、結線換えをして281.25 kV試験を実施し、両運用状態とも仕様を満足する良好な結果を得た。

4 500 kV分解輸送型変圧器の完成

4.1 500 kV分解輸送型変圧器の完成

500 kV分解輸送型変圧器の初号器として、2000年に中国電力株式会社智頭変電所に500 kV 1,000 MVA分解輸送型変圧器を納入した(図3参照)。ここでは、輸送コストが低減できたほか、据付け面積を従来の単相器×3台タイプに比べて約50～60%に縮小することができた。

4.2 分解輸送技術の主な特徴

500 kV分解輸送型変圧器に適用した技術と主な特徴は以下のとおりである。

- (1) 鉄心には主脚非分割方式を採用し、鉄心特性を低下させずに輸送寸法と質量の最小化を図っている(表2参照)。
- (2) 巻線は、同一鉄心脚に巻装されるすべての巻線(1相

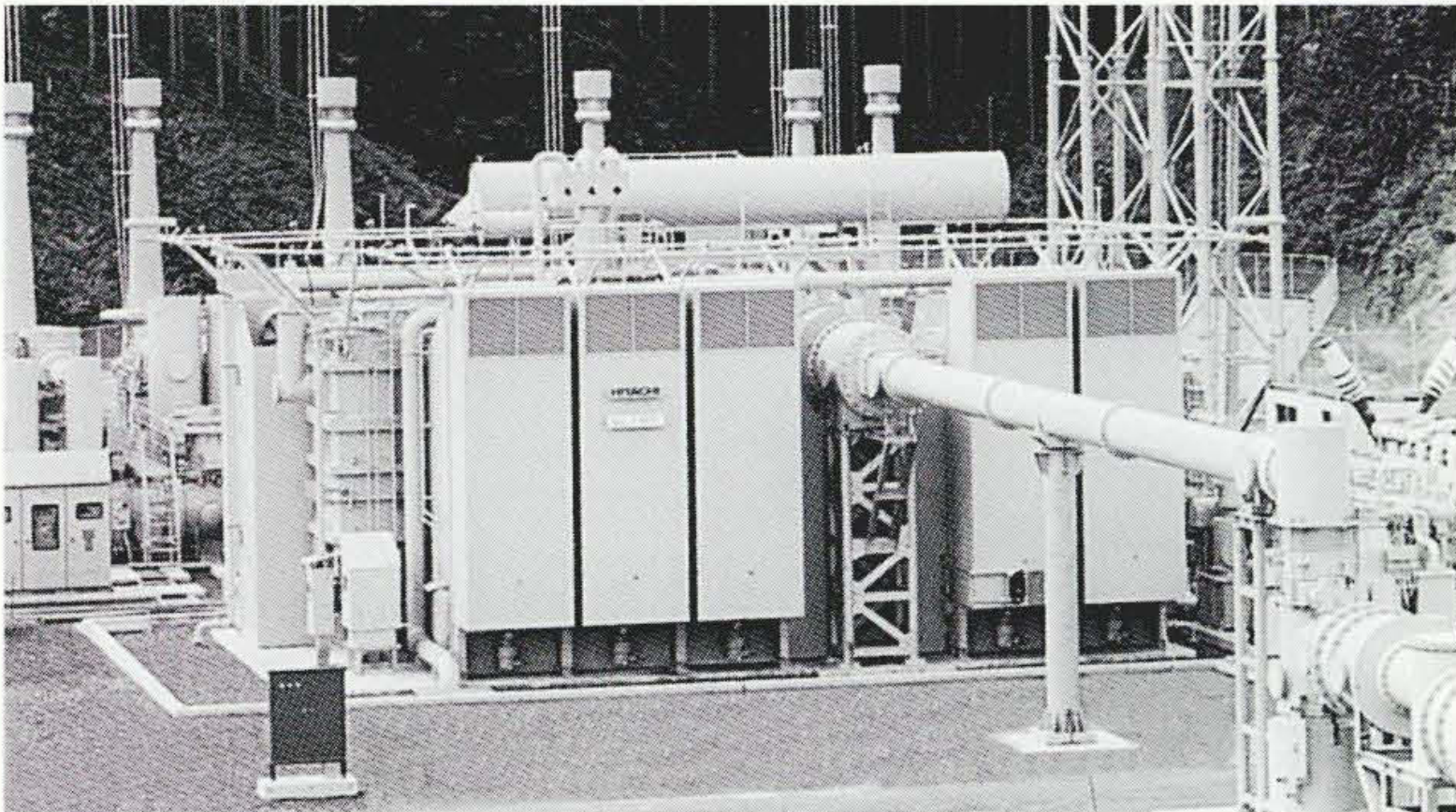


図3 中国電力株式会社智頭変電所納め500 kV 1,000 MVA変圧器
日立製作所初の500 kV分解輸送変圧器である。

分)を基本単位として輸送する。輸送時には、吸湿防止と防じん対策のため、フィルムでこん包している。

(3) タンクについては、低床トレーラの輸送制限との兼ね合いで分割数を決定した。下タンクは鉄心の起立を容易にする「雇い」と呼ばれる機能も兼ねており、つり上げに要する力を低減しているほか、現地据付け時の鉄心起立作業の簡素化を図っている(表2参照)。

4.3 輸送試験

500 kV 1,000 MVA変圧器の製作に先駆けて、500 kV 1,000/3 MVA (1相分)の変圧器を試作した。巻線・鉄心の分割単位については、29.4 m/s²以上の輸送管理加速度を発生させた状態で、走行試験、悪路試験、急発進、急

表2 分解輸送技術の特徴

鉄心には、鉄心特性が安定している主脚非分割方式を採用した。下タンクは起立雇いと兼用し、作業の簡素化を図った。

	鉄心分割方式	起立雇い兼用下タンク
内容	主脚非分割方式 	



図4 試作変圧器の輸送試験の様子
輸送試験前後では、輸送の影響を確認するために、電氣的特性試験を実施する。

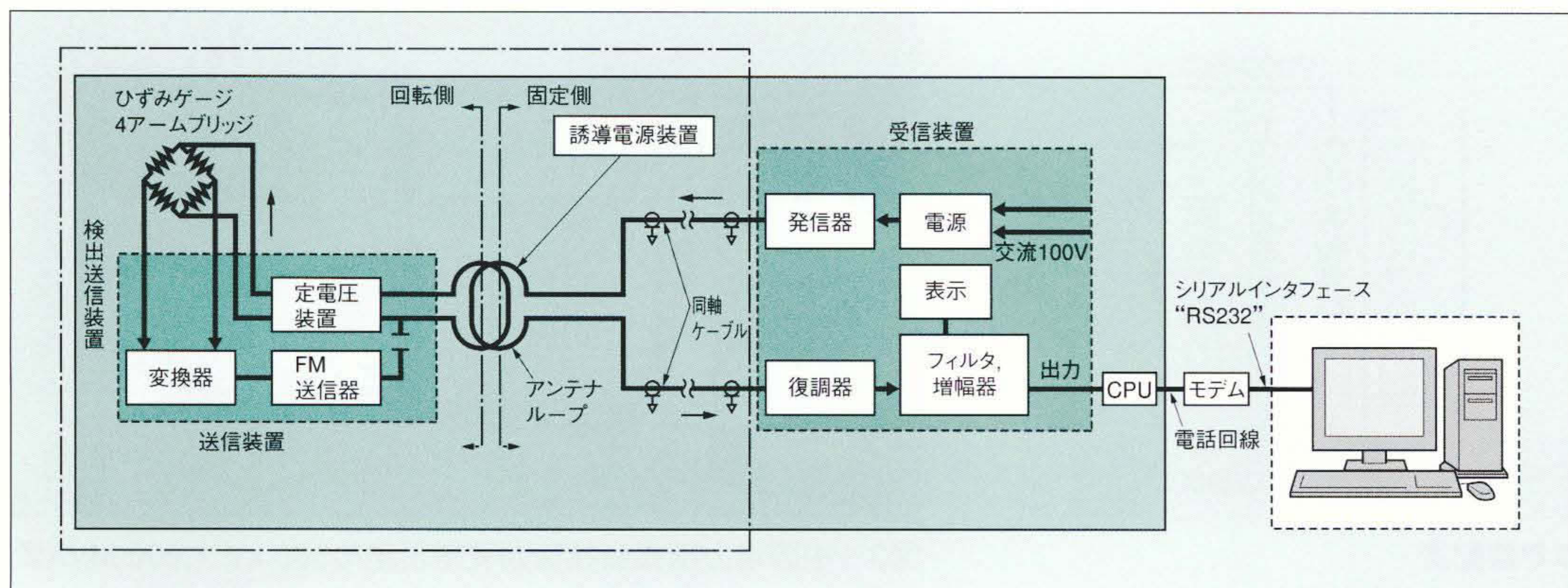


図5 負荷時タップ切換器の駆動トルク測定の概要
経時的異常の有無の監視と異常部位の標定を行う。

制動試験、およびレッカによる落下試験を実施し、外観点検と寸法測定を行った結果、異常のないことを確認している。また、輸送試験の前後で電気的特性試験を実施し、輸送試験前後で特性の変化がないことを確認している。輸送試験の様子を図4に示す。

さらに、輸送・再組立後には予備試験と本試験を実施して輸送前の試験結果と比較し、電気的試験結果に差異がないことを確認した。

5 予防保全システム

日立製作所は、変電所予防保全技術のニーズに対応し、油面や油温、異常診断などを装備した監視装置を開発してきた。その例として、他部品に比べて障害ポテンシャルの多い、変圧器用の負荷時タップ切換器の運転監視技術について以下に述べる。

5.1 負荷時タップ切換器のトルク監視システム

日立製作所は、駆動トルクや動作時間、電動機電流などを検出することにより、負荷時タップ切換器の異常兆候を早期に発見できる異常監視装置を実用化している。図5に示した測定システムでは、トルクセンサとトルク測定値を、電話回線を使用して遠方中央制御室またはメーカーに伝送している。

トルク値の伝送データの蓄積により、駆動トルクパターンと不具合現象のほか、部位の標定も可能としている。また、タップ切換器駆動系の変形や、軸と軸受の固渋などに起因して経時的に進展する異常は、駆動トルク値のトレンドとパターンを分析することによって検出することができる。

6 おわりに

ここでは、最近のニーズを反映した変圧器の例として、大容量二重定格電圧変圧器と500 kV分解輸送型変圧器

について述べた。

電力会社の設備投資抑制に対するニーズは切実である。日立製作所は、今後も常に設計、製造、検査ツールを充実させ、このようなニーズに対応した製品を提案し、さらに需要が増えてくると予想される予防保全や、遠隔監視のビジネスにも注力していく考えである。

参考文献

- 1) 丸山，外：送変電設備の予防保全技術，日立評論，75，12，855～860(1993.12)
- 2) 三瓶，外：大容量分解輸送変圧器，日立評論，82，2，191～194(2000.2)

執筆者紹介



天野直樹

1977年日立製作所入社，株式会社日本エーイーパワーシステムズ 国分事業本部 変圧器部 所属
現在，電力用変圧器の設計・開発に従事
電気学会会員，日本機械学会会員，IEEE会員
E-mail：naoki_amao @ pis. hitachi. co. jp



河村憲一

1994年日立製作所入社，株式会社日本エーイーパワーシステムズ 国分事業本部 変圧器部 設計グループ 所属
現在，高電圧・大容量変圧器の設計に従事
電気学会会員
E-mail：kenichi-a_kawamura @ pis. hitachi. co. jp



横山雅一

1991年日立製作所入社，株式会社日本エーイーパワーシステムズ 国分事業本部 変圧器部 設計グループ 所属
現在，高電圧・大容量変圧器の設計に従事
E-mail：masakazu_yokoyama @ pis. hitachi. co. jp



小島啓明

1986年日立製作所入社，電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 第一部 所属
現在，電力用変圧器の開発・研究に従事
工学博士
電気学会会員
E-mail：hiroaki_kojima @ pis. hitachi. co.