# オーストラリア向け 330kV 160 MVA 単巻変圧器

330 kV 160 MVA Auto-Transformers Exported to Australia

小 川 毅\* Takeshi Ogawa

栗田健太郎\*
Kentarô Kurita

栗 山 卓\*
Takashi Kuriyama

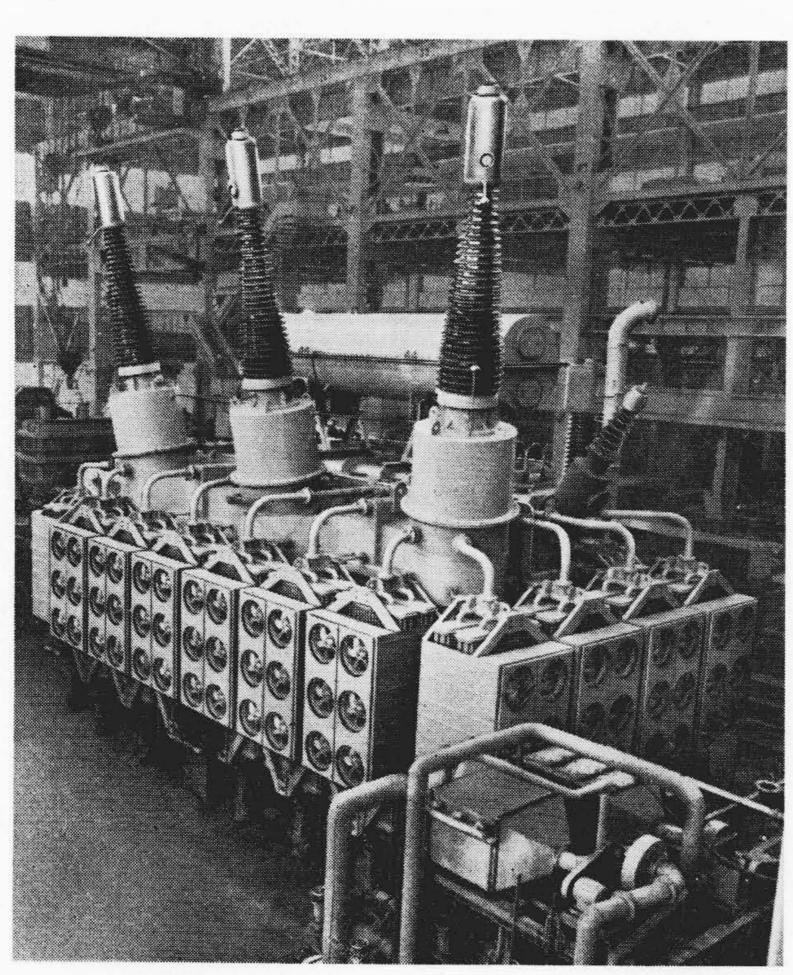
## 内 容 梗 概

オーストラリアニュー・サウス・ウェルズ州電力委員会向け 330 kV 160 MVA 負荷時 タップ切換単巻変圧器 4 台を製作中であったが、このほど完成納入した。この変圧器は記録的な 330 kV の超高圧単巻変圧器であるばかりでなく、超高圧側を  $280\sim380$  kV の広範囲に負荷時電圧調整を行なうため、巻線構造、巻線配置、タップ切換装置などに幾多の新技術がとり入れられている。

## 1. 緒 言

オーストラリアにおいては電力の大部分はその豊富な石炭による 火力発電に依存していたが、約10年前から東南部の山嶽地区に最終 的には3,000 MW の水力発電を行なう Snowy Mountains 計画と称 する大規模な開発が国家機関の手で強力に推進されている。またこれらの水力発電所と火力発電所を連絡し、電力の大消費地であるシドニイ、メルボルン地区とを結ぶ330kV 送電線が建設されている。日立製作所はオーストラリアの Tasmania 電力委員会向け220kV30 MVA変圧器2台の納入に引き続きニュー・サウス・ウェルズ州電力委員会に330kV±15%/132kV160 MVA 三相負荷時タップ切換単巻変圧器4台を納入した。これらのうち2台はシドニイ北部のベイルス・ポイント火力発電所に、他の2台はシドニイ南部のダプト変電所に設置され、上記330kV送電線に接続されて電力輸送に重要な役割を果している。

特に本変圧器は送電系統の運営上の要求より 330 kV 側の電圧を 負荷時タップ切換装置により 280~380 kV まで 100 kV の電圧を切 り換えうる構造となっており、三相変圧器として組立輸送が行なわ れた。



第1図 330/132 kV 160 MVA 負荷時タップ切換単巻変圧器

おもな仕様は次のとおりである。

ダイヤフラム形コンサベータ付

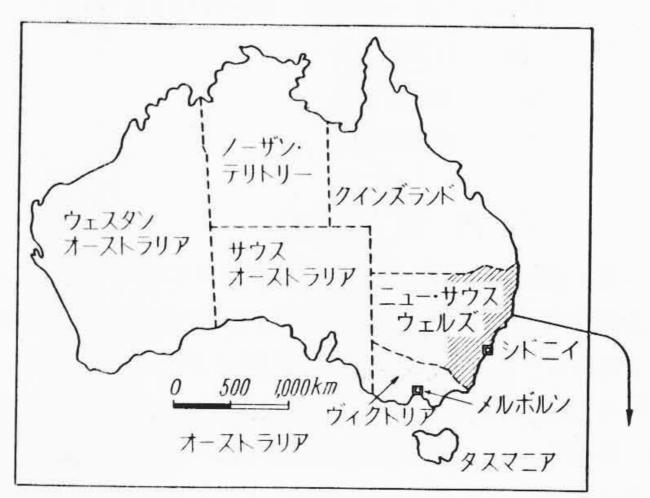
定格 出 力 高圧 160,000 kVA

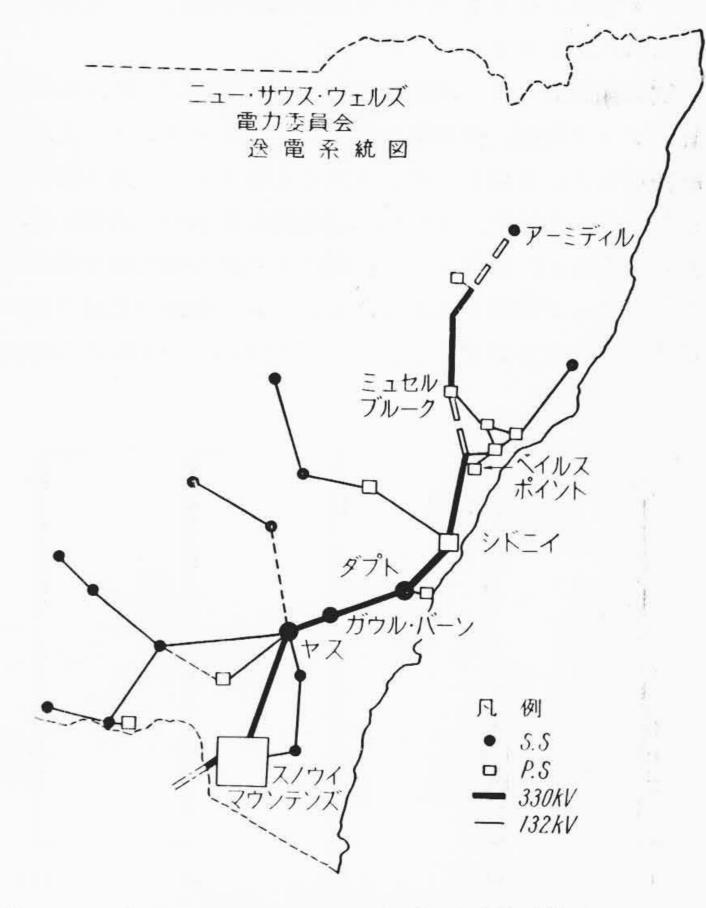
中圧 160,000 kVA

低圧 18,000 kVA

中圧 132 kV

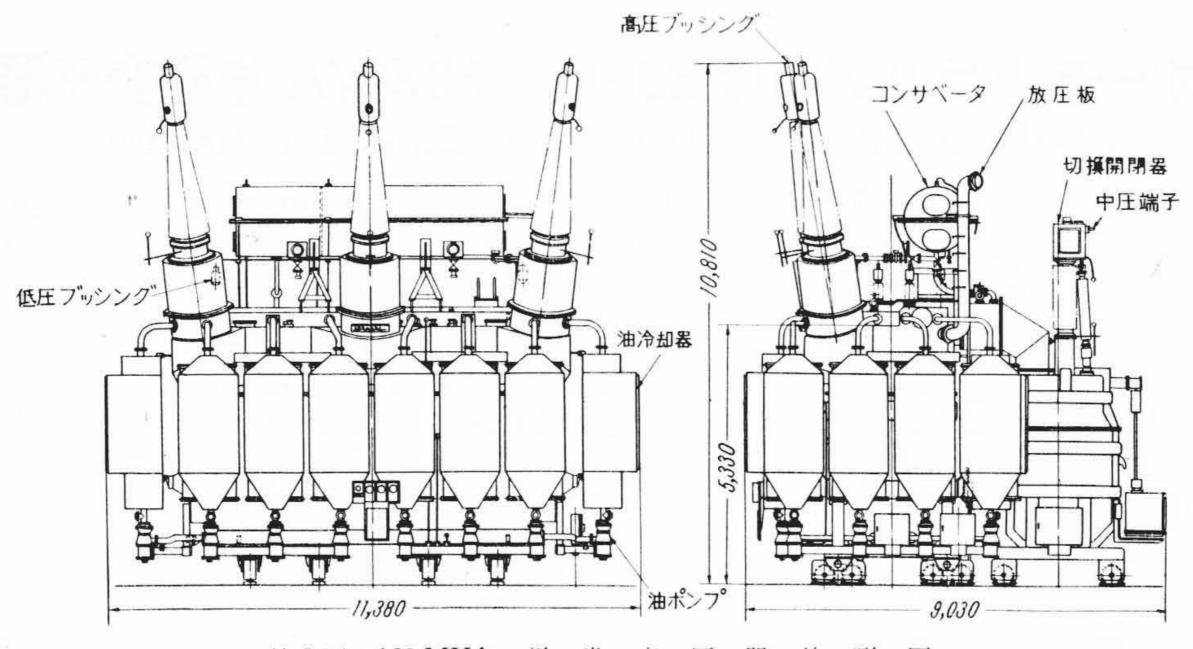
低圧 33 kV





第2図 東部オーストラリアの超高圧送電系統図

<sup>\*</sup> 日立製作所国分工場



第3図 160 MVA 単 卷 変 圧

結 高圧) 低圧 三 角 形

高圧 BIL 1,300 kV 中性点 110 kV 中圧 BIL 550 kV

低圧 BIL 200 kV

波 50 cps

インピーダンス 11.5% 高一中圧間 160,000 kVA 基準

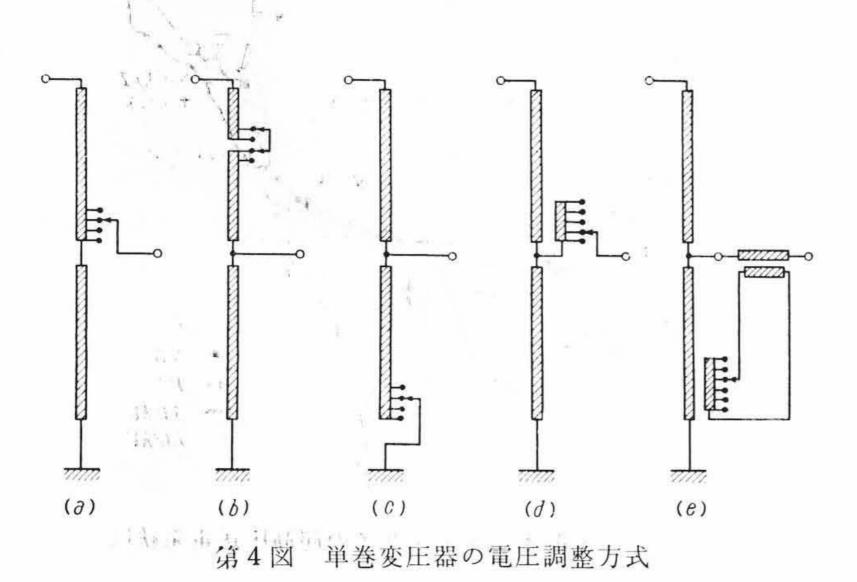
法 幅 11,380 mm 4 奥行 9,030 mm

10,810 mm 高さ

### 2. 内 部 構 造

単巻変圧器の電圧調整方式には第4図に示すように種々の方式が あり, これを大別すれば直接調整方式と間接調整方式に分けられ る。直接調整方式とは一つの鉄心に直列、分路およびタップ巻線を 巻いたものであり第4図(a) $\sim$ (d)はこれに相当し、また間接調整 方式とは直列、分路巻線のある主単巻変圧器のほかに電圧調整用の タップ巻線を有するタップ変圧器を組み合わせたもので第4図(e) はこれに相当するものである。

、電圧調整方式は、調整を要する電圧が高圧側か低圧側か、電圧 比, タップ範囲, 衝撃電圧分布, インピーダンスの変化, 機械力, 経済性などを考慮して決定されるものである。第4図(c)はタップ 切換装置が中性点、すなわち接地側にあるので絶縁が容易となる利 点を有するが、反面タップ位置により鉄心中の磁束密度が変化する ので、タップ範囲が大きくなるとタップ巻線の分路巻線に対する比 率も大きくなり好ましくない。すなわちこの場合の磁束密度の最



330kV 132KV

第5図

大,最小の比r,調整電圧 $U_R$ は次の式で示される。

ここに  $V_{H \min}$ : 高圧側の最低電圧

V<sub>H max</sub>: 高圧側の最高電圧

V<sub>L min</sub>: 低圧側の最低電圧

V<sub>L max</sub>: 低圧側の最高電圧

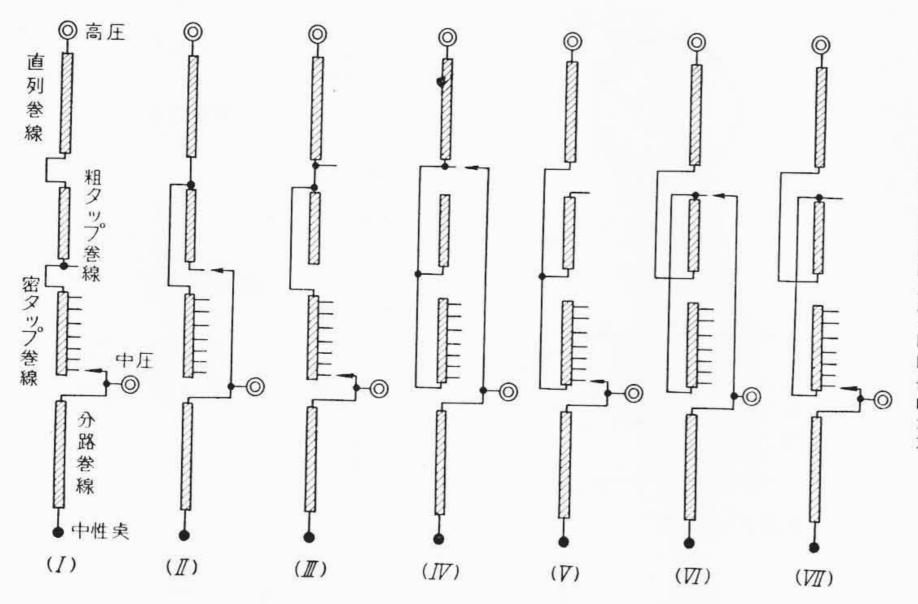
この変圧器の場合について検討してみると,

$$r = \frac{280 - 132}{380 - 132} = 0.6$$

$$U_R = \frac{280}{0.6} - 380 = 88 \quad (kV)$$

となり、磁束密度は最高と最低では40%も変化し、またタップ電 圧も88kVという大きな値となり不経済なものになってくる。

この変圧器は電圧調整範囲が高圧側にて±15%であるので、い ろいろの条件を検討して第4図(b)の方式を採用した。すなわちタ ップは第6図に示すように直列巻線の中圧端子側に設け、この部分 の対地電圧を低くし、タップ巻線は直列、分路巻線とは別個の独立



第6図 160 MVA 単巻変圧器のタップ接続図

したものとし、第5図に示すように鉄心側から低圧巻線、タップ巻線、分路巻線、直列巻線の順に配置した。この構造によりタップ電圧を変化させたとき、磁気的不平衡を避け、短絡時の機械力ならびに漂遊損失の減少をはかった。また特に高圧側 330 kV 端子は直列巻線の中央より引き出して上下を並列接続として、高圧端子付近の電界分布を良好にしている。

一般に単巻変圧器においては、高低圧巻線の一部が共通になって いるため,衝撃電圧特性は普通の変圧器と異なった様相を呈するも のである。すなわち運転状態において一端から雷が侵入するときは 他端子は巻線のサージインピーダンスに比べて低い値の線路に接続 されているので大部分の雷電圧が直列巻線にかかることになる。ま たいずれかの端子が開放状態にあるときに他端子より雷が侵入する と回路条件によっては開放端子に大きな電圧を生ずることがある。 この変圧器においては巻線としては機械力に対して最も強いディス クコイルを採用し、直列および分路巻線にはコイル内部にしゃへい 導体を巻き込んで直列静電容量を飛躍的に大きくした制振しゃへ い心を施している。タップ巻線は特別の巻線構造として同様に直列 静電容量を増加させる方式を採用して, 巻線内部電位振動を抑制し 衝撃電圧特性を改善して信頼度を向上させている。これにより,高 圧側から侵入した雷電圧が全部直列巻線にかかっても耐えるように 製作されたので, 直列巻線保護用の並列避雷器は不要となり, 普通 の変圧器と同様 330 kV および 132 kV 端子に 避雷器を設置するこ とで絶縁の協調が得られる。

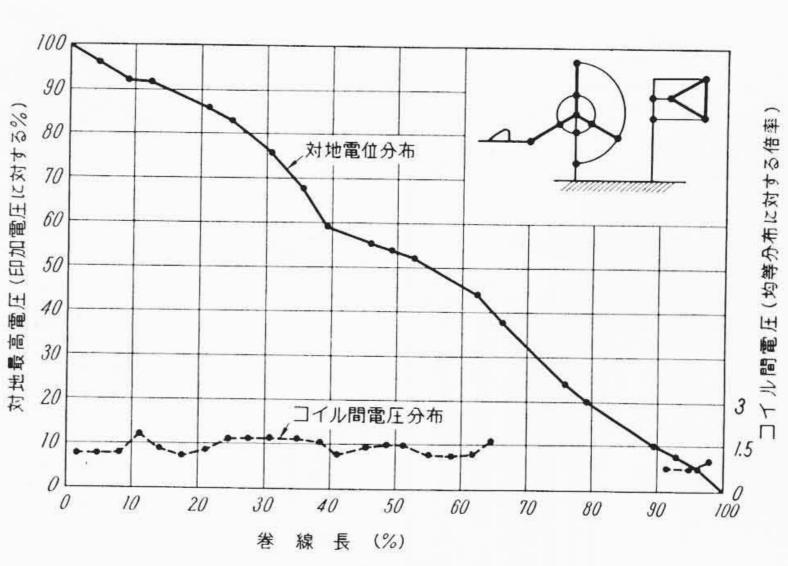
高圧端子に衝撃電圧を印加したときの実測の一例を**第7**図に示したが、ほとんど均等分布となっている。

コイル導体としては**第8**図に示す日立製作所独特の複導体電線を使用し、普通に使用されている電線に比べて巻線の占積率を著しく向上させている。このほかコイルの処理、乾燥、油含浸処理などにも特別な考慮が払われ、信頼性を高めている。

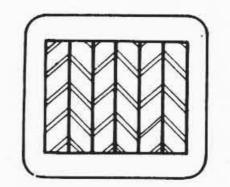
この変圧器は 330 kV 160 MVA という超高圧,大容量器であるが、中身を組み立てたまま限られた鉄道輸送限界内にて輸送するため、鉄心高さを極力低くする必要があり 5 脚鉄心構造を採用した。鉄心材料としては方向性ケイ素鋼帯を使用し、すぐれた特性をうるためにひずみ取り焼鈍を行ない、組立作業中に応力を与えないよう細心の注意を払った。

## 3. 冷 却 方 式

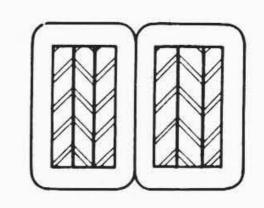
変圧器の容量が大きくなると、冷却の問題も重要となってくる。 この変圧器においてはタンク周辺に放熱器を配置し、それにファン を取り付けた送油風冷方式を採用し、またポンプ、ファンを停止し た場合にも80 MVA の自冷容量をもたせている。



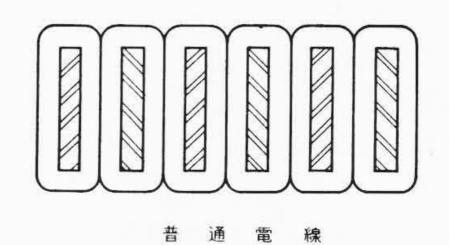
第7図 高圧巻線の衝撃電圧特性



複導体電線



3 導体電線



第8図 複導体電線と普通電線の比較

この冷却器によって冷却された油の一部は**第9図**のように巻線内部に直接送りこまれ、巻線の強制冷却を行なっており、内部に設けられたバリヤにより、ジグザグ状に流れコイル表面を一様に洗って、絶縁物中の温度降下、境界面温度降下、巻線出入口の温度差を低下させて、効果的な冷却を行なっている。

#### 4. 負荷時タップ切換装置

この変圧器は三相単巻変圧器の高圧側の電圧を ±15% という広い範囲にわたって調整を行なうため第6図に示したようにタップ巻線を中圧側に接続し、また三相単巻変圧器であるために、対地、相間ともに、132 kV 回路の絶縁耐力を持たせた三組の負荷時タップ切換装置を有し、これらを一つの電動操作機構で動作させる構造とした。特にタップ巻線については衝撃電圧が侵入したときにタップ巻線に現われる電圧が小さくなるように絶縁構造ならびに配置についても考慮するとともに、タップ範囲が大きくかつタップ数も多いので、タップ巻線を粗巻線と密巻線に分け、これに転位切換、極性切換を併用して小形とした。その接続は第6図(I)~(VII)に示すように、

日

第9図 巻 線 の 冷 却 構 造

- (I) 接続にて 330 kV+15%~+9%
- (Ⅱ) 接続にて 330 kV+8%

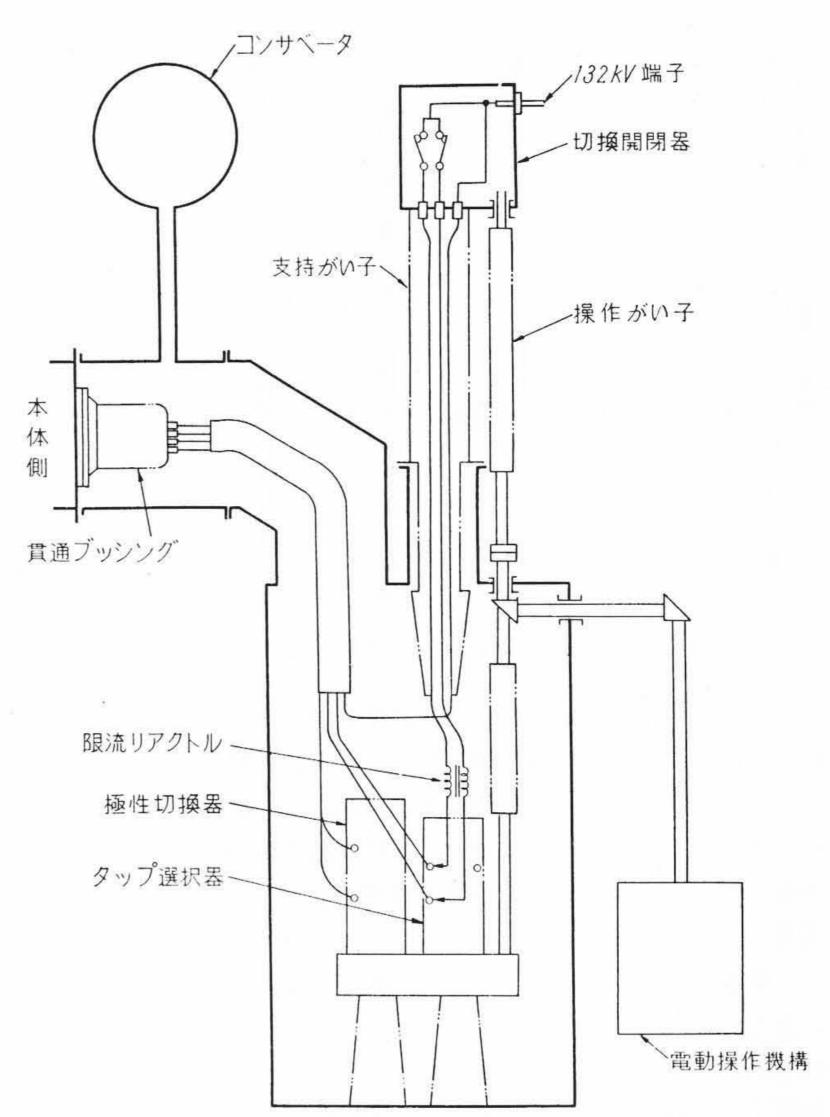
鉄心締付金具

- (Ⅲ) 接続にて 330 kV+7%~+1%
- (IV) 接続にて 330 kV
- (V) 接続にて 330 kV-1%~-7%
- (VI) 接続にて 330 kV-8%
- (VII) 接続にて 330 kV-9%~-15%

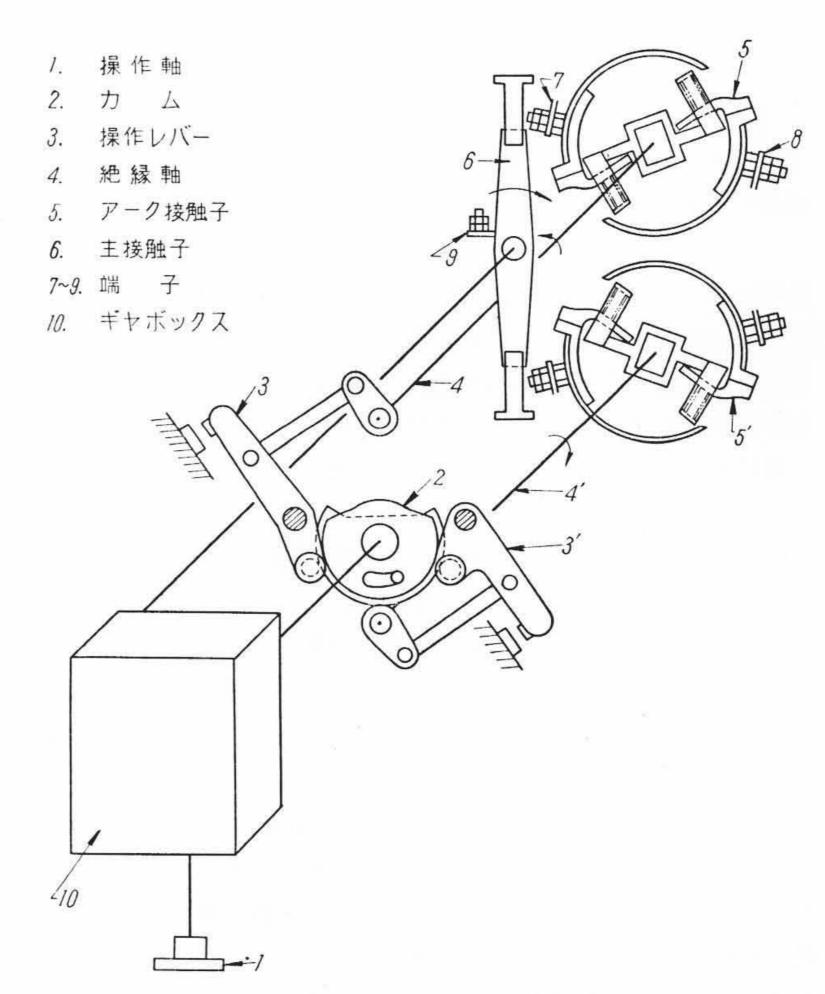
#### の電圧調整がそれぞれできる構造となっている。

このように密タップ巻線と粗タップ巻線を設けることにより、タップ巻線の最大電圧はほぼ1/2となり、タップ間の衝撃電圧印加時に現われる電圧も小さくでき、信頼度を高めている。

切換方式にはリアクトル方式を採用し, 負荷時タップ切換機構部 分は別のタンクにおさめ、貫通ブッシングで本体タップ巻線と切換 装置を接続する構造とした。そのため輸送時の分離は容易となり, 本体ならびに機構部分もそれぞれ組立輸送した。第10回は一相 分の負荷時タップ切換装置を示したもので、タップ選択器、転位切 換、極性切換、切換開閉器、限流リアクトル、電動操作機構などか らなる。特に切換開閉器は日立製作所で開発した油入回転形, 2点 高速度遮断方式の性能のすぐれたものである。 その構造を 第11 図 に示す。切換開閉器は精密な仕上加工を施したカムにより駆動さ れ、タップ選択器の動作と規則正しい関係を保っている。アーク接 触子部は図示のように絶縁筒に設けられ、2点遮断、早切動作をさ せるために対称的に配置されている。重量はバランスして、動作エ ネルギーは回転モーメントのみでよいので軽快に動作することがで きる。また2点早切遮断として良好な遮断特性および投入特性を有 しているので、接触子の消耗が少ない。またアーク接触子と並列に スプリングによって十分な締付圧力を与えたクリップ形の主接触子 を設け、常時の負荷電流の通過に役だたせている。したがって常時 はアーク接触子部には電流は通さず、このようにして耐久力を増す とともに信頼度を高めている。



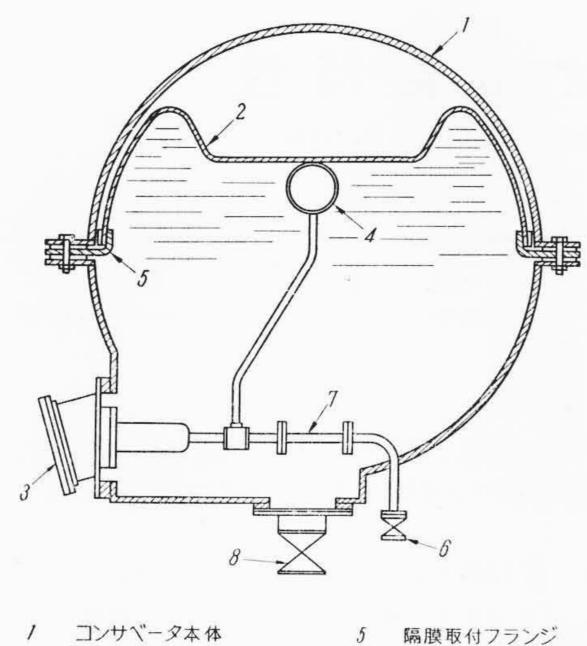
第10図 負荷時タップ切換装置接続図



第11図 切換開閉器の動作関係図

## 5. 外 部 構 造

超高圧変圧器においては特に運転の安全を確保するために、組立 輸送を行なうことが好ましい。本単巻変圧器は高圧側にて電圧調整 を行なうので三組のタップ切換装置は第10図に示したように油中 貫通ブッシングを通して別タンクに収納されているので、本体中身





油面計用浮子 8 吐出弁

第12図 ダイヤフラム形コンサベータ構造図

たわみ連結管

と切換装置は切り離してそれぞれ組立輸送された。なお, 現地にす え付け後の移設も考慮してオーストラリアの狭い鉄道輸送限界内に おさめるとともに輸送限界寸法を最大限に利用し, 輸送中の応力に 対して安全な構造とした。

また本変圧器においては外気中の湿気を吸収し、あるいは空気中の酸素が油中にとけて油を劣化させることのないようにダイヤフラム形コンサベータを採用している。その構造は第12図に示すように油面上部を柔軟なたわみにとむ耐油性合成ゴムシートで直接おおい、油と空気との直接の接触を断って油の劣化を防止したもので、コンサベータのダイヤフラム隔膜上部空間は吸湿呼吸器を通して外気と流通し、隔膜は油面の上下に応じてスムースに動き、油面の圧力は常に大気圧に保たれる。

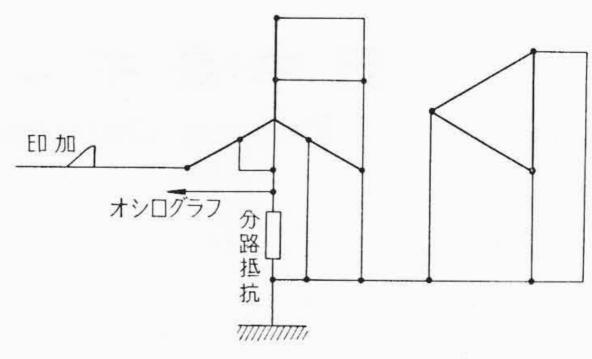
隔膜下面の油面計用浮子は隔膜と一緒に動き、油面位置を示し、 万一隔膜が破損して沈んだ場合には浮子も同時に沈み油面計警報接 点により警報を発生する。また注油時の残留ガスは油面計用浮子の 頭部より支持腕を通して外部に除去することができる構造となって いる。この方式は窒素ガスを使用しないため、特別の設備も不要、 構造も簡単、保守も容易である。

## 6. 試 験

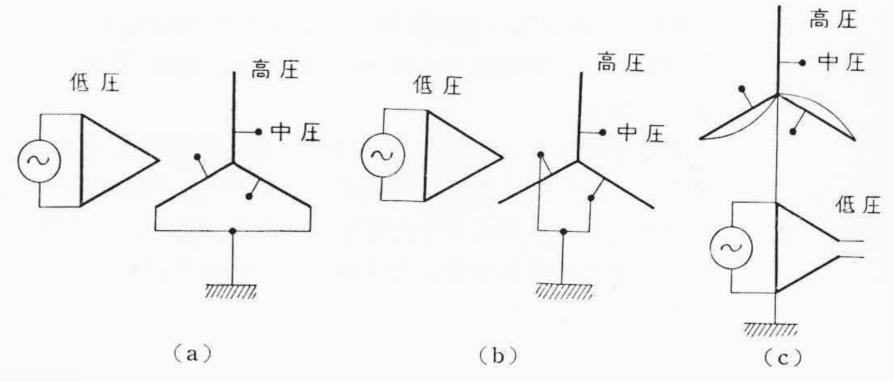
単巻変圧器においては高圧側と中圧側が巻線の一部を共通にしているので、絶縁試験も普通の変化器と趣きを若干異にしている。

前にも述べたように運転中高圧側から雷電圧が侵入するときは (中圧側に低い線路のサージインピーダンスが接続されているので) ほとんど大部分の電圧が直列巻線に印加される。したがって本変圧 器に衝撃電圧試験を実施するにあたっては、直列巻線の高圧印加の 場合に中圧側端子を直接接地して全電圧が直列巻線に加わるよう第 13 図に示す結線で全波とせつ断波試験を実施した。

三次巻線を有する段絶縁単巻変圧器の誘導試験法としては一般に 第14図(a)および(b)の方法があり,第14図(a)は一般の段絶縁



第13図 高圧巻線の衝撃電圧試験回路



第14図 誘導 試験 回路

変圧器にもよく使用される方法である。しかるに本単巻変圧器の商 用周波数における試験電圧は高圧側 575 kV, 中圧側 242 kV, 中性点 34 kV であり、(a) の方法では高圧側に 575 kV を誘起させると中 圧側には350 kV, 中性点には192 kV が誘起され, いずれも試験電 圧を大幅に上回ることになる。また(b)の方法により最低タップ位 置で試験を行なっても高圧側 575 kV を誘起する場合に隣接高圧端 子間に 698 kV, 中圧端子に 330 kV, 中性点に 109 kV が発生し, 特 に高圧端子間に高い電圧が発生する。このように試験電圧よりはる かに高い電圧がかかることを避け、適当な試験電圧を印加するため に本変圧器が特に5脚鉄心構造であることを利用し第14図(c)に 示すように低圧側の三角結線を一部開放として単相励磁し単巻線側 の中性点を突き上げ, 非印加相の巻線は短絡して磁気的に単相と し、励磁電圧を適当に選ぶことによって高圧端子に 575 kV を印加 した。このとき中圧端子には278 kV, 中性点には84 kV がかかる が、(a)、(b)に比べてより合理的な試験電圧を加えることができ た。

#### 7. 結 言

記録的な超高圧大容量単巻変圧器を狭い輸送限界内で組立輸送できたことは、大容量、超高圧変圧器の製作技術に関するながい経験と、絶えざる研究の成果によるものである。またこの変圧器が新しく建設された大形変圧器製作工場の第一号変圧器として製作されたことは意義深いものがある。

この変圧器の設計,製作によってまた新しい貴重な経験を深めたが,これは近い将来わが国に実現を予想される 400 kV 級送電用機器の一礎石となることは確実で、われわれはこの方面に対しさらにたゆまざる研究を続けてゆく心算である。

#### 参 考 文 献

(1) 首藤: 日立評論 別冊 7, 15 (昭 29-7)