

九州電力株式会社 西谷変電所納
200,000 kVA 組立輸送型変圧器
 200,000 kVA Transformer (Transportable as Fully Assembled)
 Delivered to the Nishitani Substation of Kyushu Electric Power Co., Inc.

小川 毅* 栗田 健太郎*
 Takeshi Ogawa Kentaro Kurita

内 容 梗 概

九州電力株式会社西谷変電所納 220 kV 200,000 kVA 三相変圧器 2 台のうち 1 台が日立製作所において完成した。この変圧器は超高圧大容量器として記録的なもので、製作にあたっては電源開発株式会社西東京変電所納 156,000kVA 変圧器をはじめ多数の大容量変圧器の製作経験も十分に取り入れるとともに巻線強制冷却、二分割巻線構造など新しい技術の注入により重量、寸法の低減を計り鉄道による組立輸送を行った。本文においてはこれらの概要を紹介する。

1. 緒 言

九州電力株式会社西谷変電所納 220 kV 200,000 kVA (等価容量)三相三巻線変圧器 2 台のうち 1 台が日立製作所において完成した。この変圧器は北九州の主要送電幹線を連繋するもので容量において記録的なものである。わが国においては電圧 200 kV 以上の超高圧大容量変圧器は完全な三相器として組立輸送を行った例がない。本変圧器は

- (1) 二分割巻線構造の採用
- (2) 巻線の強制冷却の採用
- (3) 方向性珪素鋼帯の採用
- (4) 吊梁式シキ 300 号貨車の使用

などの新しい技術の注入により中身を完全に組立てたまま輸送を行った。本変圧器の仕様は下記のとおりである。

型式： 屋外用三相三巻線送油風冷式内鉄型遮蔽付

定格出力 一次： 180,000 kVA

二次： 160,000 kVA

三次： 60,000 kVA

(等価容量 200,000 kVA)

電圧 一次： 220,000 V

二次： 110,000 V

三次： 66,000 V

結線 一次： 人 (中性点直接接地)

二次： 人

三次： △

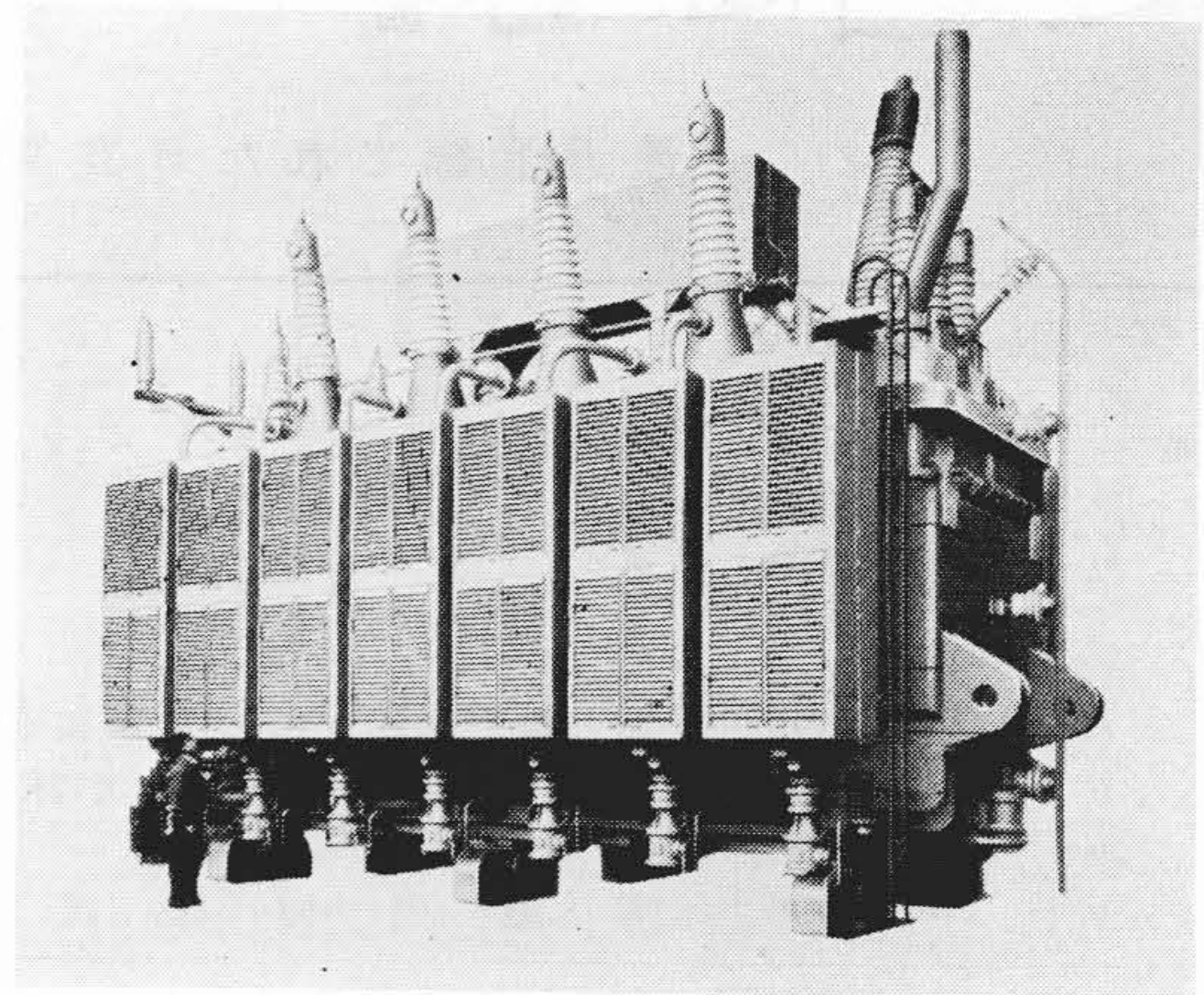
周波数 60~

絶縁階級 一次： 線路側 170号 中性点側 60号

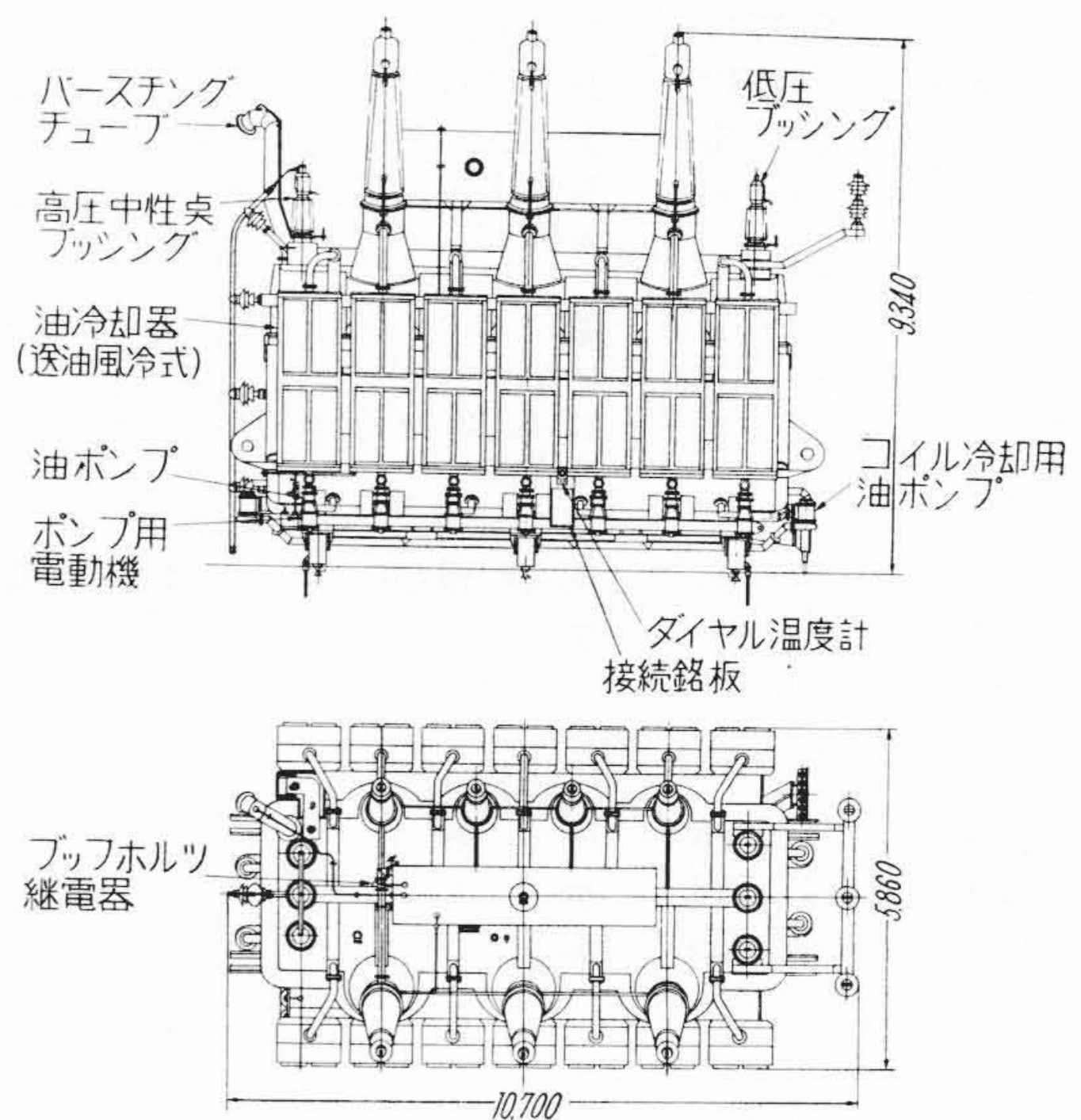
二次： 100号

三次： 60号

総重量： 320 t



第 1 図 200,000kVA 変 圧 器



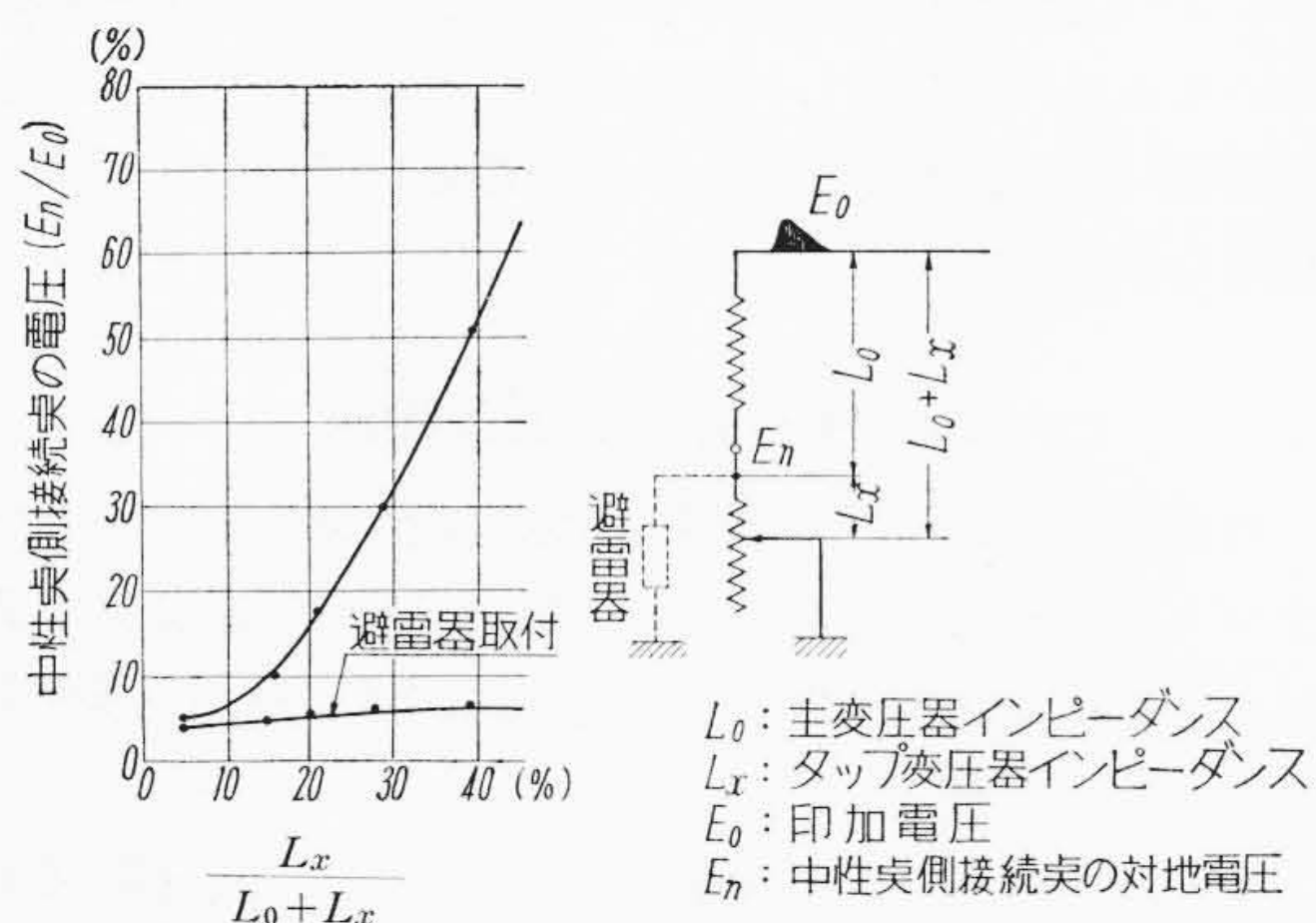
第 2 図 200,000 kVA 変 圧 器 寸 法 図

* 日立製作所国分工場

油なし重量: 257 t
 油量: 70,000 l
 寸法: 幅 10.7m × 奥行 5.86m × 高 9.34m

2. 巻線構造

大型変圧器を組立輸送するため寸法を輸送限界に収めようとすると変圧器の性能特にインピーダンスに大きな影響を与えるが、インピーダンスの値は系統電圧に対応する大体の基準値があり、これを大幅に変えることはできない。輸送限界のために巻線高さを低くすればインピーダンスは巻線高さに逆比例して大きくなり、これを適正值にするためには巻回数を小さくする必要があり、したがって鉄心断面積は大きくなるので重量が増加し、ある限度をこえると著しく不経済となってくる。しかし一方の巻線を二つに分けて他巻線をはさむ構造とすれば、巻線高さが同じならインピーダンスは約 $1/2$ となるので、巻線高さを低くし、かつインピーダンスを適当な値にすることができ、組立輸送を行う変圧器についても経済的な設計が可能となる。本変圧器は中圧巻線を二分割して高圧巻線をはさむ巻線構造を採用し、内側より低圧、中圧、高圧、中圧の順に配置した。高圧、中圧巻線には昭和29年以来実施総容量4,000MVAに及んで好成績を納めている制振遮蔽^{(1)~(3)}を施した。高圧巻線は中圧巻線にはさまれているので170号の線路端子は巻線上端、60号の中性尖端子は下端より引出され、特に線路側のコイル配置は電界解析装置により検討し電界分布を緩和するように考慮した。なお本変圧器は各巻線にタップはなく、高圧巻線の各相中性点側端子は別々に外部に引出され将来中性点側に電圧位相調整変圧器を接続できる構造となっている。一般にタップ変圧器を中性点に接続すると線路側から衝撃電圧が侵入するときこの接続点に高い電圧が発生することがあるが、適当な構造とした巻線の場合にはこの値を小さくすることができる。第3図に電磁模型により測定した一例を示したが、これによれば接続点



第3図 衝撃電圧印加時中性点接続点に現われる電圧特性

に現われる電圧はほぼインピーダンスの比したがってタップ容量にほぼ比例する値となつているが避雷器を接続点に挿入すれば同図に示すようにより低くすることができる。本変圧器は高圧巻線の中性点側は対地60号、相間40号として将来タップ変圧器の接続を可能としている。

3. 巻線の強制冷却

変圧器の設計に際して温度上昇の問題は絶縁の問題とともに最も重要なものであるが、一般に容量が大きくなつてくると冷却は次第に困難を加えてくる。すなわち損失は寸法の3乗に比例するのに対して冷却面積は2乗に比例するのでコイル表面の単位表面積から放散すべき損失は容量とともに大きくなり、冷却方式が同じときは大容量器の方が巻線と油との温度差は大きくなる傾向にある。したがって大容量器においては冷却効果を大きくするためにコイル間ダクトを大きくするか、コイル内部に冷却ダクトを設けるなどの方策がとられているが、対流のみにたよる方法にはおのずから限度がある。強制的に巻線に油を流す方法は大型変圧器に対して有効な冷却手段であり巻線は小型にししかも巻線と油との温度差も小さくすることができるので変圧器を小さくすることができる。一般に巻線の強制冷却を行う場合、巻線の油に対する温度上昇 θ_{c0} は巻線内の油の温度上昇 $\Delta\theta_0$ 、油とコイル表面の温度差 $\Delta\theta_{c0}$ および巻線絶縁物中の温度差 $\Delta\theta_i$ よりなり次式で表わされる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

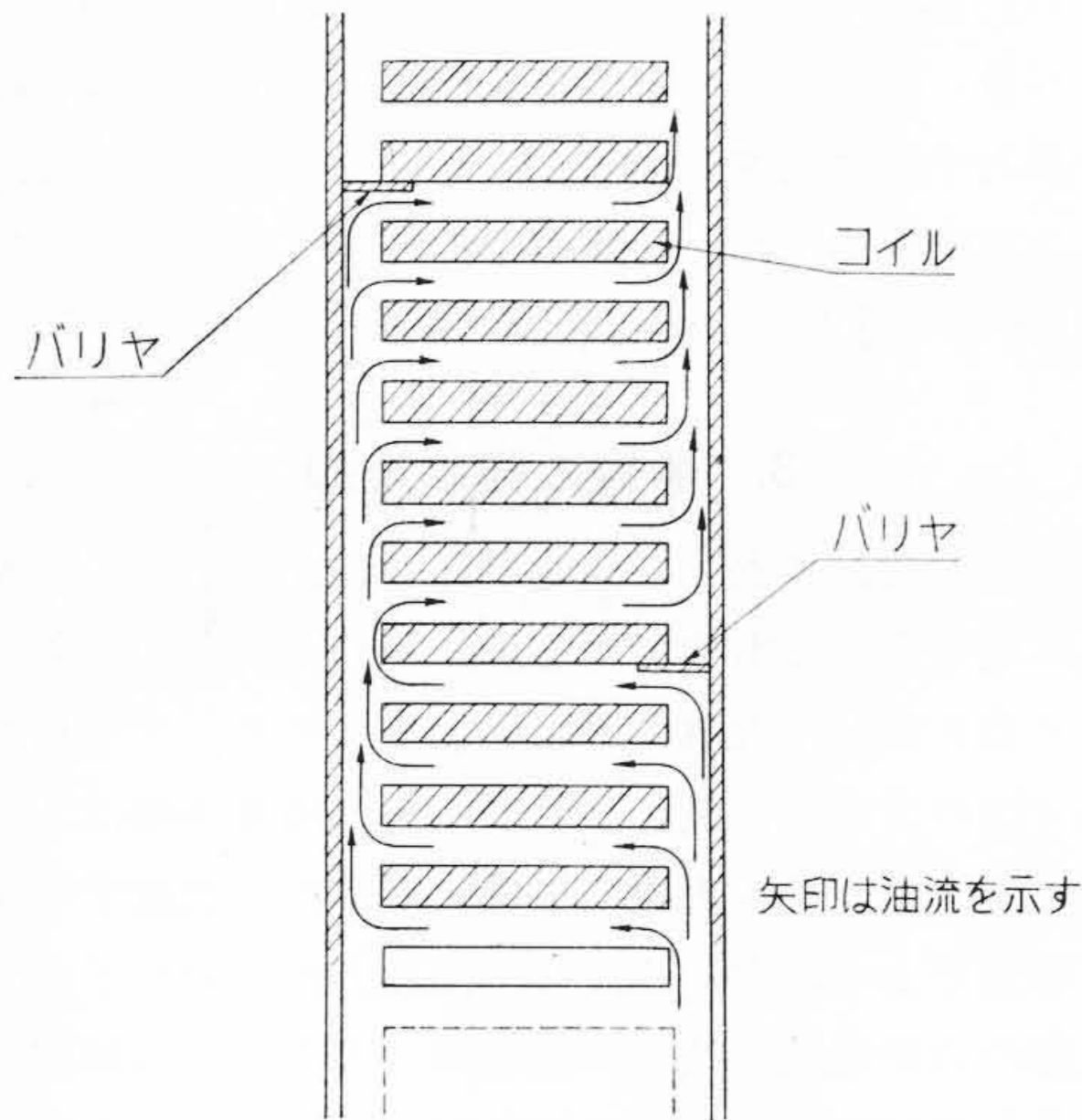
$$\theta_{c0} = \Delta\theta_0 + \Delta\theta_{c0} + \Delta\theta_i$$

$$= \frac{1}{2} \frac{P}{C \cdot \gamma \cdot V} + \frac{W}{k \cdot (Re \cdot Pr)^{0.23} \left(\frac{d}{l}\right)^{-0.5} \lambda} + \frac{W}{\lambda_i} \delta_i$$

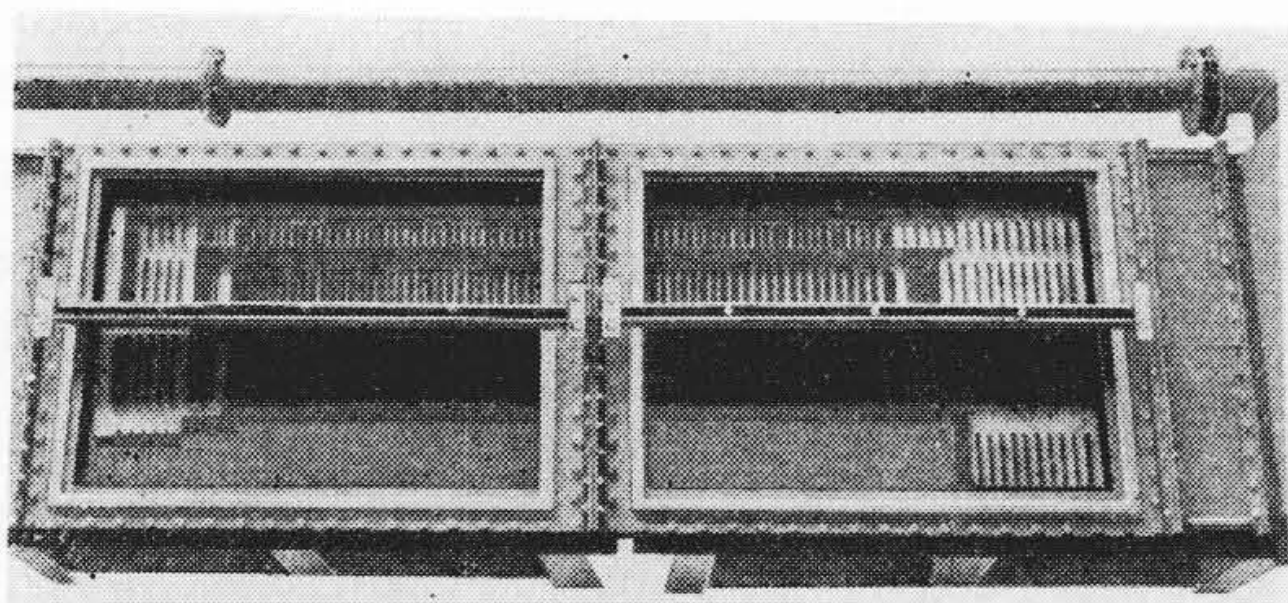
ただし

- P : 巻線内に発生する損失
- C : 油の比熱 γ : 油の密度
- W : 単位面積当りの放散損失
- k : 常数
- Re : レイノズル数 $= \frac{D \cdot v}{\nu}$
- Pr : プラントル数 $= \frac{\nu \cdot C \cdot \gamma}{\lambda}$
- v : 油流速 D : ダクトの等価直径
- l : ダクトの長さ
- ν : 動粘性係数
- λ : 油の熱伝導度
- λ_i : 絶縁物の熱伝導度
- δ_i : コイル素線絶縁物の厚さ

この式より明らかなとおりコイルと油との境界面の温度差 $\Delta\theta_{c0}$ は油速の0.23乗に逆比例し特に油速を大きくしてもあまり変わらず、また巻線内油の温度上昇 $\Delta\theta_0$ は流量に逆比例して小さくなるが、絶縁物中の温度勾配 $\Delta\theta_{c0}$



第4図 強制冷却巻線の構造



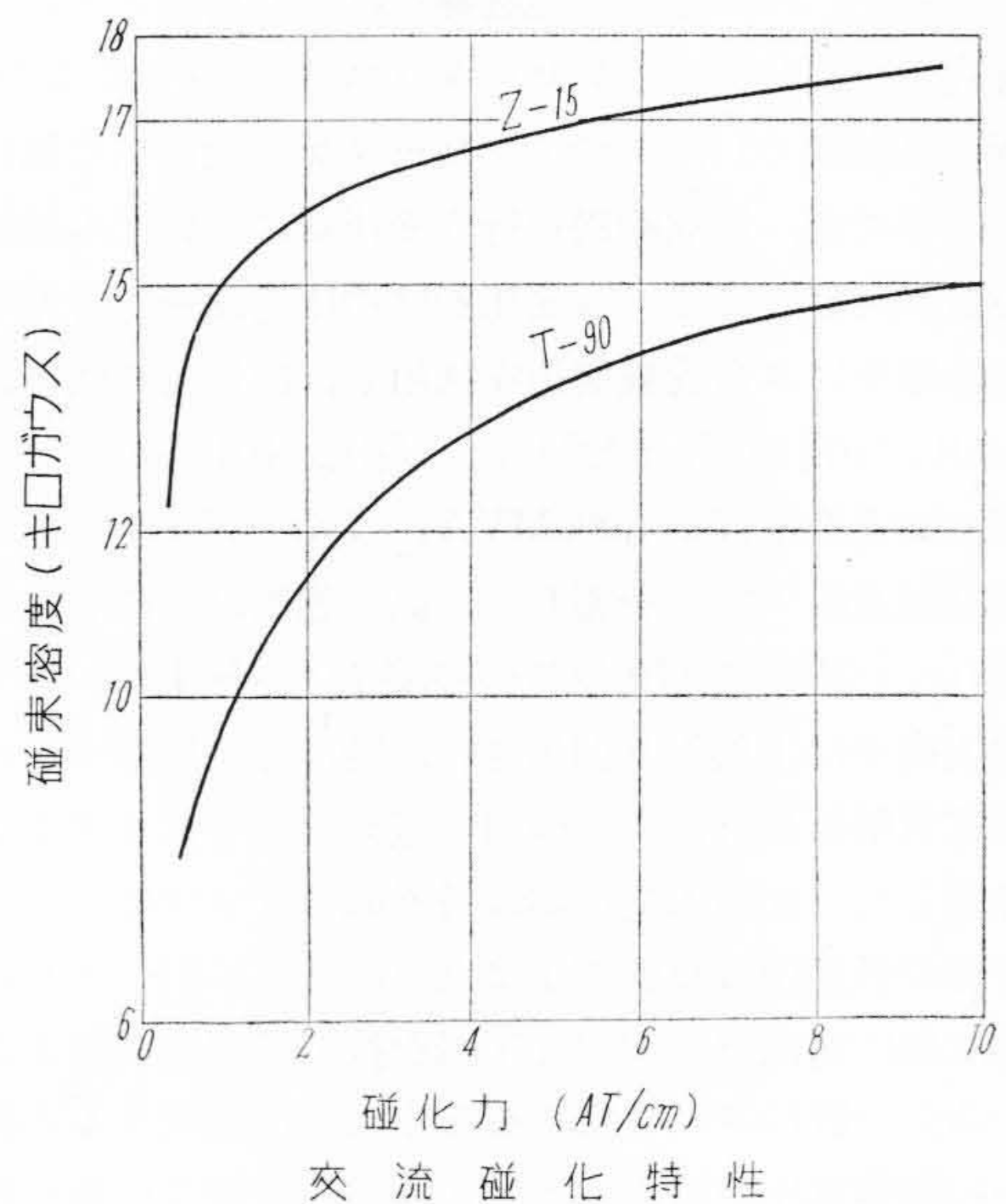
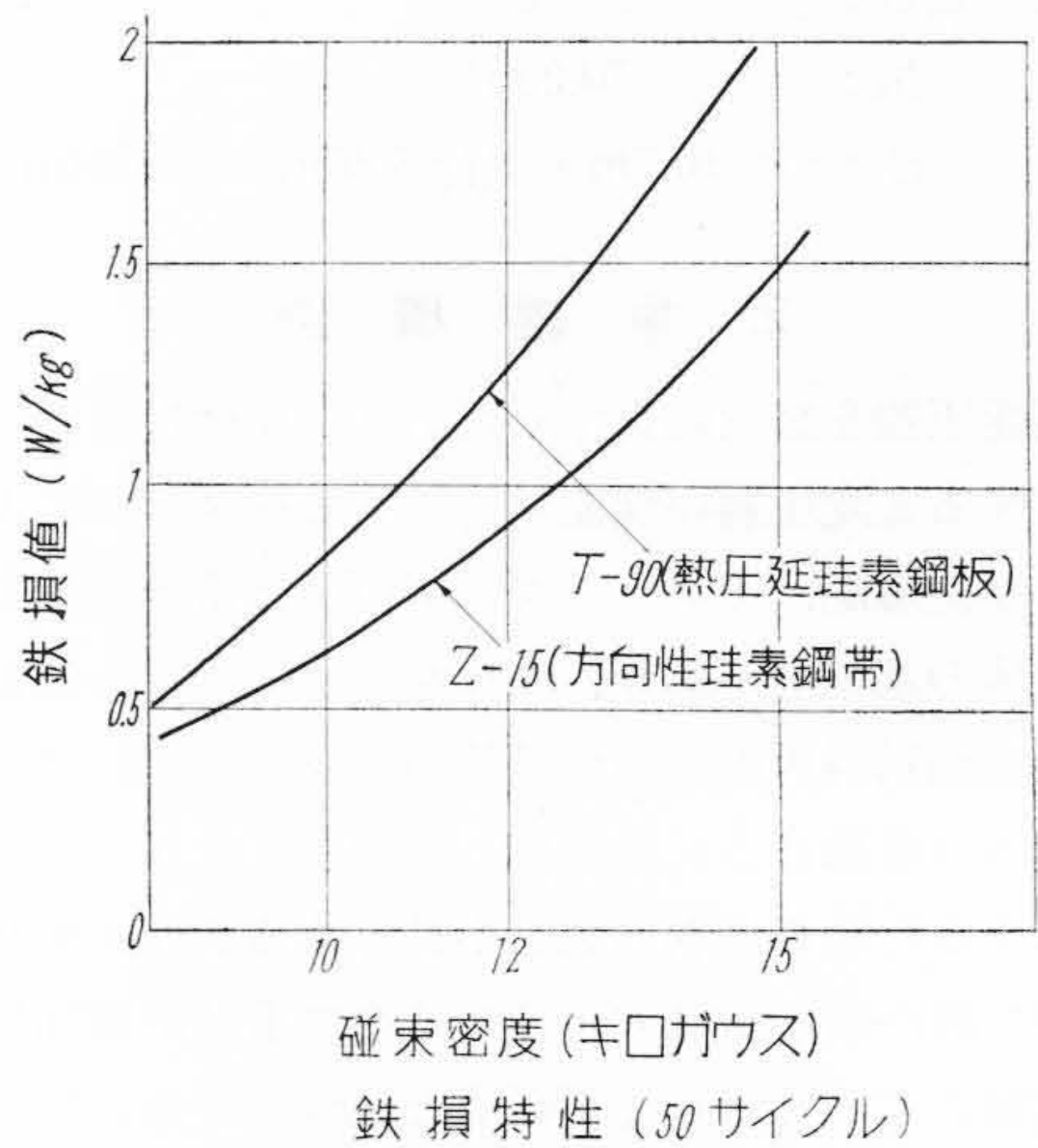
第5図 巻線の強制冷却送却研用模型

は放散損失が定まれば決まってしまうので、巻線内部におくり込む油量は経済的な見地から決められる。

本変圧器は高圧、内側中圧、低圧巻線に各相ごとに共通の専用油ポンプにより下部の冷えた油を送る強制冷却構造を採用し、各巻線内部は第4図に示すようにコイルを数個おきにバリヤを設け油がコイル表面を流れる構造とした。この場合油はコイル表面を一様に洗つて流れることが望ましいので二次元模型に油を流しダクト寸法などを種々変えて検討を行つた。油の流れは各コイル内で一様にするとともに各巻線に適當の油を配分する必要があり第5図に示す模型により油配分の状態を詳細に検討し、最適の条件で本体を製作した。

4. 鉄心構造

冷間圧延による方向性珪素鋼帯はわが国においてもすでに大量生産の段階に入り、鉄損、励磁特性などは第6図に一例を示すように従来の熱間圧延珪素鋼板に比し著しくすぐれている。これを使用すれば鉄損、励磁電流などを増すことなく十数パーセントの重量低減ができ、組立輸送限界容量は著しく拡大される。日立製作所では鉄心構造、焼鈍方法、磁気特性などについて基本的な検討



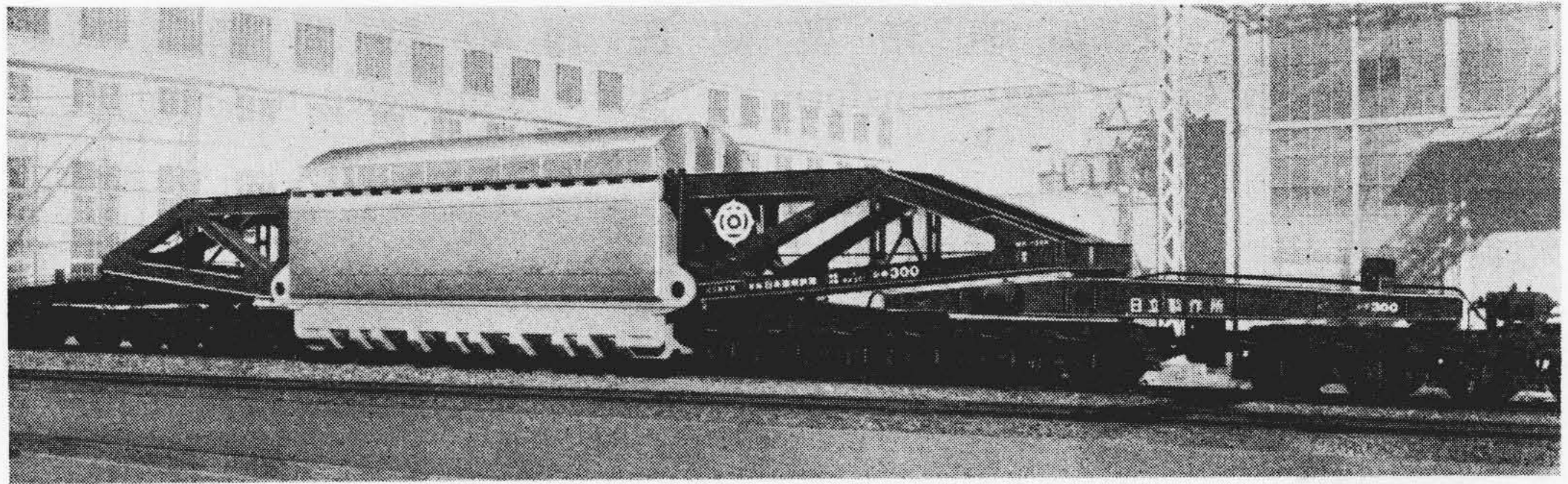
第6図 珪素鋼板の特性

を行い、すでに 40,000 kVA 変圧器をはじめ各種の変圧器にこの方向性珪素鋼帯を使用してきたが、本変圧器についてもこれを使用し、新設焼鈍炉によりひずみ取り焼鈍を行い良好な結果を得た。また鉄心は5脚鉄心構造を採用し鉄心高さを低くした。

5. 外部構造および輸送

外函は許容された輸送限界寸法を最大限に利用し、プラットフォームより高い部分は幅を広げて補強梁を入れ、側壁は寸法を小さくするために二重壁構造を採用した。

本変圧器は中身が乾燥後外気に触れることを避けるため本体外函にて予備乾燥・真空乾燥を行い、予備乾燥中酸素による絶縁物の劣化を避けるため不活性の窒素ガス



第7図 シキ 300 号貨車で輸送中の 200,000kVA 変圧器

を循環させる方式を採用した⁽³⁾。この場合外函の二重壁間に加熱蒸気を送り、下部に取り付けた特殊加熱パイプとともに加熱効率を著しく高めた。

以上のように各種の技術の導入により小型、軽量化を計るとともに日立製作所笠戸工場で新に製作したわが国最大の積載量 210 t シキ 300 号特殊貨車によつて組立輸送を行つた。

6. 結 言

以上九州電力西谷変電所納変圧器について述べたが、記録的超高压大容量器でしかも鉄道による組立輸送を行つた本変圧器は、過去における幾多の大容量器の製作経験をもとにさらに新しい技術の開発によつて生み出され

たものである。

わが国においては電力系統はさらに大きくなり、400kV 送電計画も審議されている状態で、より高い電圧の大容量器の出現も遠い将来のことではないと確信しその製作の体勢をととのえている。

参 考 文 献

- (1) 首藤：日立評論 別冊 No.7, 15 (昭 29-7)
- (2) 首藤：日立評論 別冊 No.5, 5(昭 28-12)
- (3) 小川：日立評論 38, 537 (昭 31-4)
- (4) W.H. Mcadams: "Heert Transmission"(Book) (1954)
- (5) G.Gotter: Erwärmung und Kühlung Elektrischer Machinesr., (Book) (1954)

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第7頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	475944	遠 心 重 錘 止 め 装 置	日立工場	泉 千吉郎 本 間 千代一	33. 4. 22
"	475953	ヒ ュ ー ズ ク リ ッ プ 絶 縁 保 護 装 置	日立工場	吉 岡 孝 平 小 萩 池 谷 三 彪 檜 垣 登 由 大 島 昭 二	"
"	475961	巻 上 機 用 誘 導 電 動 機 の 制 御 装 置	日立工場	小 林 昭 大 島 昭 二	"
"	475912	磁 気 遮 断 器 の ア ー ク シ ュ ー ト	国分工場	小 細 林 包 哲 酒 井 嘉 信 小 根 池 本 真 平 小 栗 田 健 太 郎 沢 田 幡 寅 治 中 川 清	"
"	475934	エ レ ベ ー タ 着 床 ス イ ッ チ	国分工場	池 田 正 一 郎 池 田 正 一 郎 池 田 正 一 郎	"
"	475937	調 整 電 圧 巻 線 切 離 し 装 置	国分工場	池 田 正 一 郎 池 田 正 一 郎 池 田 正 一 郎	"
"	475941	点 滅 信 号 の 遠 方 復 帰 装 置	国分工場	池 田 正 一 郎	"
"	475942	遠 方 制 御 表 示 装 置	国分工場	池 田 正 一 郎	"
"	475943	遠 方 表 示 信 号 装 置	国分工場	池 田 正 一 郎	"
"	475962	電 車 制 御 装 置	水戸工場	平 田 憲 一	"

(第26頁へ続く)