

H種絶縁乾式負荷時タップ切換変圧器

Class H Transformer with On-Load Tap Changing Equipment

近藤喜久雄*

内 容 梗 概

シリコンによる絶縁方式と、乾式タップ切換装置の開拓により、今回、3,000 kVA 乾式負荷時タップ切換変圧器2台を完成し、大阪の都心にある関西電力株式会社堂島無人変電所へ納入し、官庁試験も好成績裡に完了した。本変圧器は、従来の経験と、幾多の研究結果にもとずき製作されたもので、乾式負荷時タップ切換変圧器として、本邦最初であるばかりでなく、容量の点においても記録品である。使用された材料は、日立シリコンワニスを始め、電線、絶縁筒などすべて日立製作所の社内製品である。

本器は、ビルディングの地下3階に搬入されるため、苛酷な寸法制限を受けざるをえず、したがって小型軽量化を主眼に設計され、搬入方法も慎重に事前検討が加えられるなど、いろいろの困難な条件を克服して完成されたものである。

〔I〕 緒 言

ビルディング、鉱山、船舶、市街地、地下変電所あるいは屋外でも無人の自動変電所などには、火災の懸念を一掃し、保守運転の簡易化を図ることが強く望まれている。最近の都心における電力需要の増加にともなつて、新たに配電用変電所を建設する場合、ビルディングの地下室を利用してここに変電所を新設する方式が用いられ、すでに幾多の実施例がある⁽¹⁾。かかる変電所は特に不燃性であることが望ましい。

日立製作所では、いわゆる不燃変圧器として、日立シリコンワニス使用の「シリコン変圧器」を開発し、多数納入している。

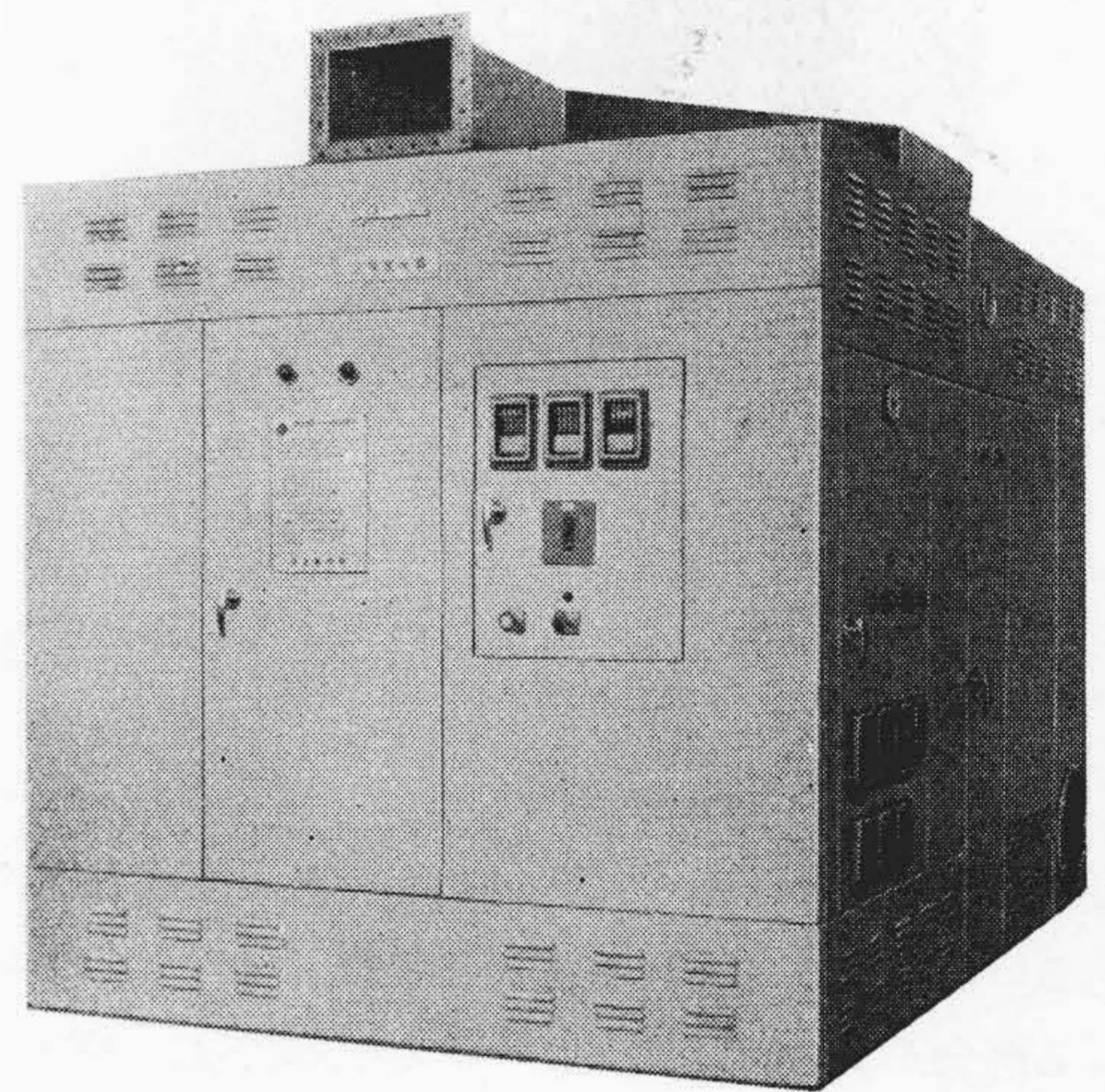
現在乾式変圧器に使用される絶縁物として、A種、B種、H種などいろいろの絶縁物があるが、耐熱、耐湿においてシリコンワニス使用によるH種絶縁がもつともすぐれている。日立シリコンワニスによる製作経験も豊富となり、数多の進歩、改善がもたらされている折柄、日立製作所では今回、3,000 kVA H種絶縁乾式負荷時タップ切換変圧器を完成した。第1図にその外観を示す。

本器はシリコン変圧器として、本邦最大容量であるばかりでなく、開閉器、調比装置を主体とする負荷時タップ切換装置に、全く絶縁油を使用しない点においても、本邦最初のものである。

この変圧器は、関西電力において、大阪の都心における電力需要増加に應ずるため、大阪毎日会館地下3階に新設された堂島変電所に納入されたものである。本変電所は、いわゆる無人のオイルレス サブステーションとして、1.6 kmはなれた福島変電所から遠方監視制御されるものである。

シリコン変圧器は、火災の危惧はなく、保守運転の簡易な点で、この種の変電所にとっては、もつとも適した変圧器と考えられる。

* 日立製作所日立国分工場



第1図 3,000kVA H種絶縁乾式負荷時タップ切換変圧器

Fig. 1. 3,000 kVA Class H Transformer with On-Load Tap Changing Equipment

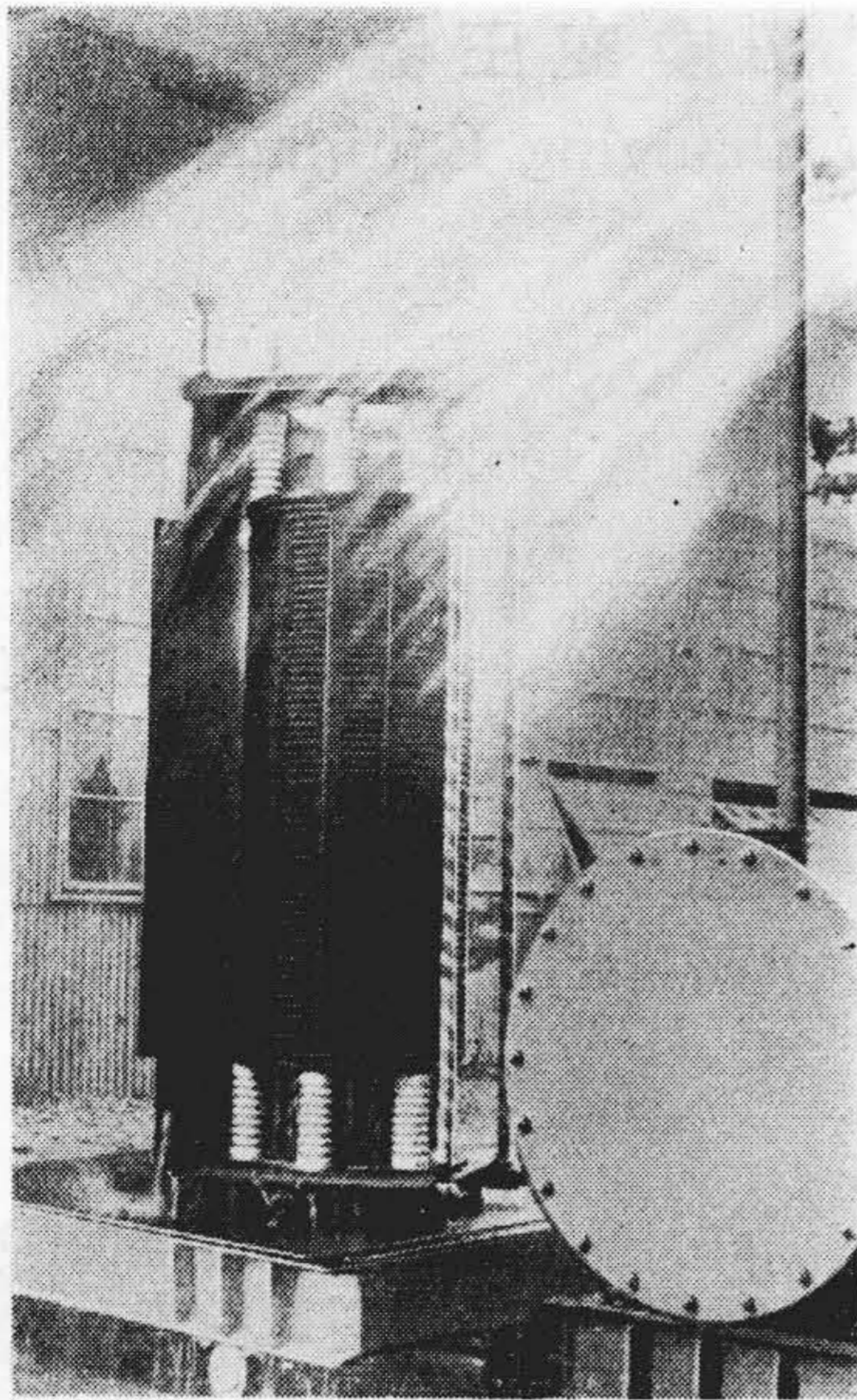
以下、シリコン変圧器の特長を概略説明した後、本器の概要を述べる。

〔II〕 シリコン変圧器の特長

(1) 耐熱、耐湿性

シリコンワニスは、俗に岩石結合と呼ばれるシロキサン結合 —Si—O—Si— を構造の根幹としているので、耐熱性がきわめてすぐれている。シリコンワニスの分解温度は300~350°Cの高温で、実際使用温度は180°C以下であるため、A種、B種絶縁物に比しいちじるしく寿命が長く、米国では温度上昇限度を180°Cとする案も提案されている状態である。

つぎに耐湿性の問題であるが、本邦のごとく湿度の高い土地では特に重要で、シリコンワニスはA種、B種のワニスに見られない撥水性を有するので、これをもつてガラス繊維、マイカ、アスベストなどを処理すれば、すぐれた絶縁特性がえられる。したがって注水試験においても、絶縁特性はいちじるしく害されないことを確認



第2図 モデルコイル注水試験
Fig. 2. Water Pouring Test for Model Coil

している。海外の報告⁽²⁾⁽³⁾もまた裏書する試験結果をえている。

(2) 耐火性, 防爆性

従来の鉱油入変圧器では、万一変圧器内部に事故を生じあるいは外部より火災を被むる場合、爆発、火災を惹起する懸念があるが、シリコン変圧器では、不燃性の材料のみで構成されているため、火災にまで進展拡大される心配がない。

(3) 絶縁

絶縁構造上、油入変圧器と異なるおもな点は、空気絶縁が介在することで、ために衝撃電圧に対する強度が問題となる。すなわち衝撃比は油入変圧器の2.0~2.4程度に対して、H種絶縁の場合は1.1~1.5程度のため、油入変圧器並の衝撃試験電圧に耐えるようにするためには、多くの固体絶縁物を要し、高価なものとならざるをえない。

この点、シリコン変圧器の利用は、直接雷電圧の侵入しない場所、たとえば市街地、坑内などのケーブルによつて配電される場所が適している。この場合の衝撃試験電圧値は系統に生ずる開閉サージによる異常電圧を考慮して定めればよく、油入器の試験電圧に比し、相当低減された値となる。第1表は米国における乾式変圧器の試験電圧値を示したものである。本邦においても、乾式変圧器の試験規格を制定すべく、上記事項を勘案して、目下JEC案が審議されているので、規格制定の日も近いことと思われる。

(4) 運搬・設置, 保守・点検

シリコン変圧器は油がないため、小型軽量で現地へ

第1表 米国における乾式変圧器の試験電圧値
Table 1 Test Voltage of Dry Type Transformer in America

電圧階級 (kV)	60~ 試験値 (kV 実効値)	衝撃電圧全波試験値 (1.5×40 μs kV 波高値)
1.20	4 (10)	10 (45)
2.50	10 (15)	20 (60)
5.00	12 (19)	25 (75)
8.66	19 (26)	35 (95)
15.00	31 (34)	50 (110)

(註) () 内は油入変圧器の試験値
ただし衝撃電圧試験値は 500kVA 以上のもの

の運搬、設置および据付後における保守点検はきわめて容易である。すなわち火災の危険がないため、特別な防火壁を設ける必要なく、負荷近くに設置できるため経済的な配線が可能で、油入変圧器におけるごとく、油の濾過、検油、吸湿剤の取換えなど保守・点検上の煩雑さがなく、中身も容易に点検することができる。

〔III〕 今回の変圧器

(1) 仕様

三相風冷式乾式負荷時タップ切換変圧器

屋内用, 内鉄型, 連続定格, H種絶縁

容量.....3,000 kVA

周波数.....60~

電圧 一次.....F22—F21—R20—F19 kV

二次.....定格電圧 3,450—6,900 V

調整電圧 3,450 ± 276 V (11段)

6,900 ± 276 V (11段)

結線.....J/J

試験電圧 一次.....商用周波加圧試験 50 kV

衝撃電圧試験 (全波) 120 kV

二次.....商用周波加圧試験 15 kV

衝撃電圧試験 (全波) 45 kV

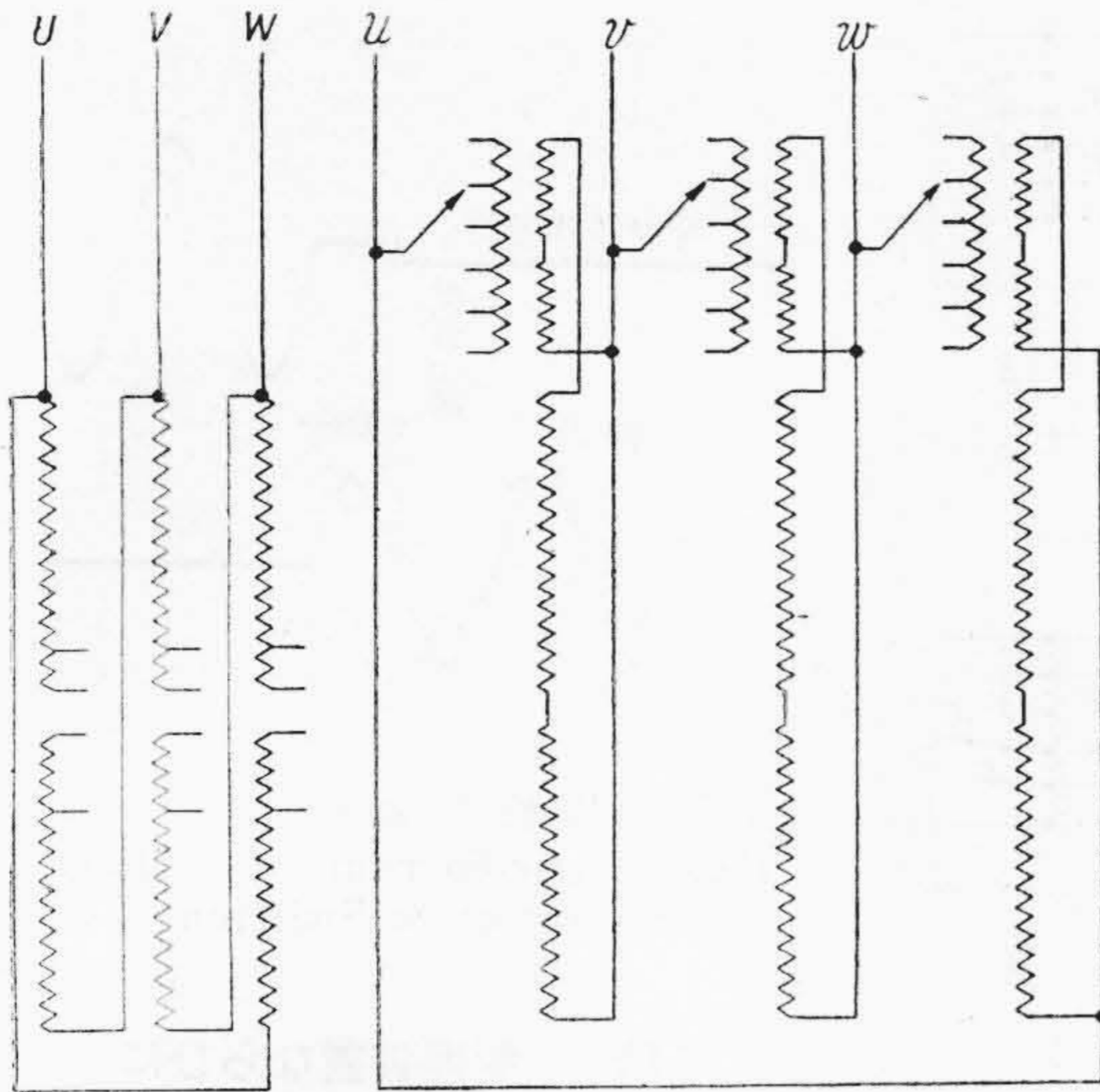
総重量.....13 t

本変圧器は、一次側源電電圧の変化と、負荷の変動に応じて、二次側タップを直接、電動操作方式により、自動的に切換え、二次端子電圧を常に一定に保つて使用される。

(2) 変圧器の構造

巻線構造は、内側より低圧、高圧の順に同心配置されており、これら主巻線の上部に、タップコイルと平衡コイルが配置されている。この平衡コイルはタップコイルと磁氣的に密に結合されており、漂遊負荷損の軽減、電圧変動率の減少を図っている⁽⁴⁾。その接続は第3図のごとくである。

電線の絶縁被覆は、ガラス、アスベストを基材とし、シリコンワニス処理を行つたもので、高温においても



第 3 図 結 線 図
Fig. 3. Connection Diagram

十分の電氣的強度を確保している。

高低圧コイル間および鉄心低圧コイル間は、耐熱性のすぐれた、電氣的強度の大きい良質のマイカを基材とし、シリコンワニスで成型した絶縁筒を使用して、高度の絶縁信頼度を確保している。

鉄心構造は、内鉄型三脚鉄心で、波打の少い精選した珪素鋼板を使用し、苛酷な寸法制限のために、極力占積率の向上に努めた。

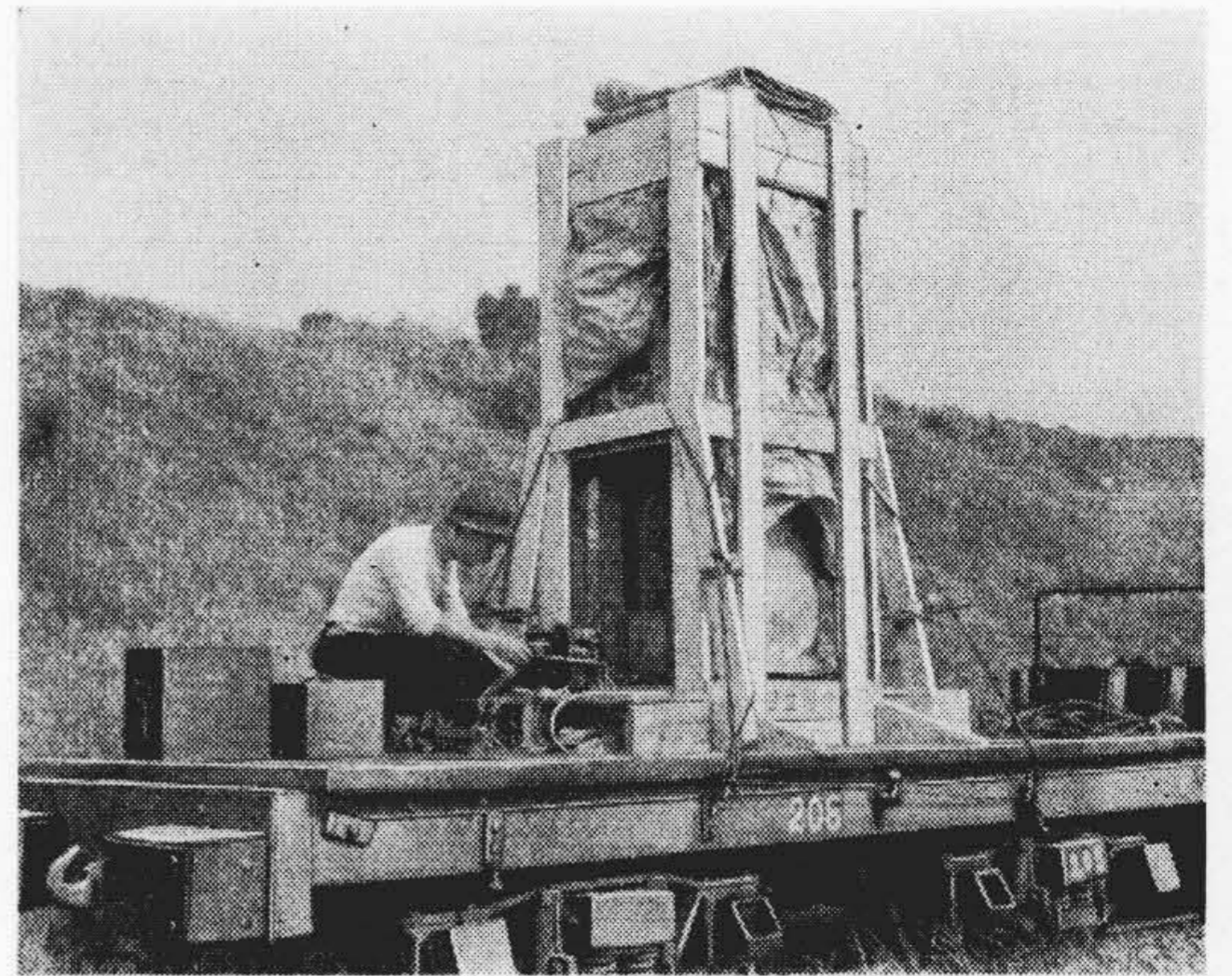
風冷装置は、2台の送風機を主体とし、これを対称に配置して、各相へ分配される送風量を一様とし、高圧コイル、低圧コイルへの送風量を調整しうる構造として、冷却効果の均一化を図つた。試験結果では、温度上昇になお余裕があり、さらに大容量器製作の確信がえられた。

高圧側のタップ切換器は、襲付の碍子にタップの端子を取付け、ジャンパーにより任意に切換えることができる。

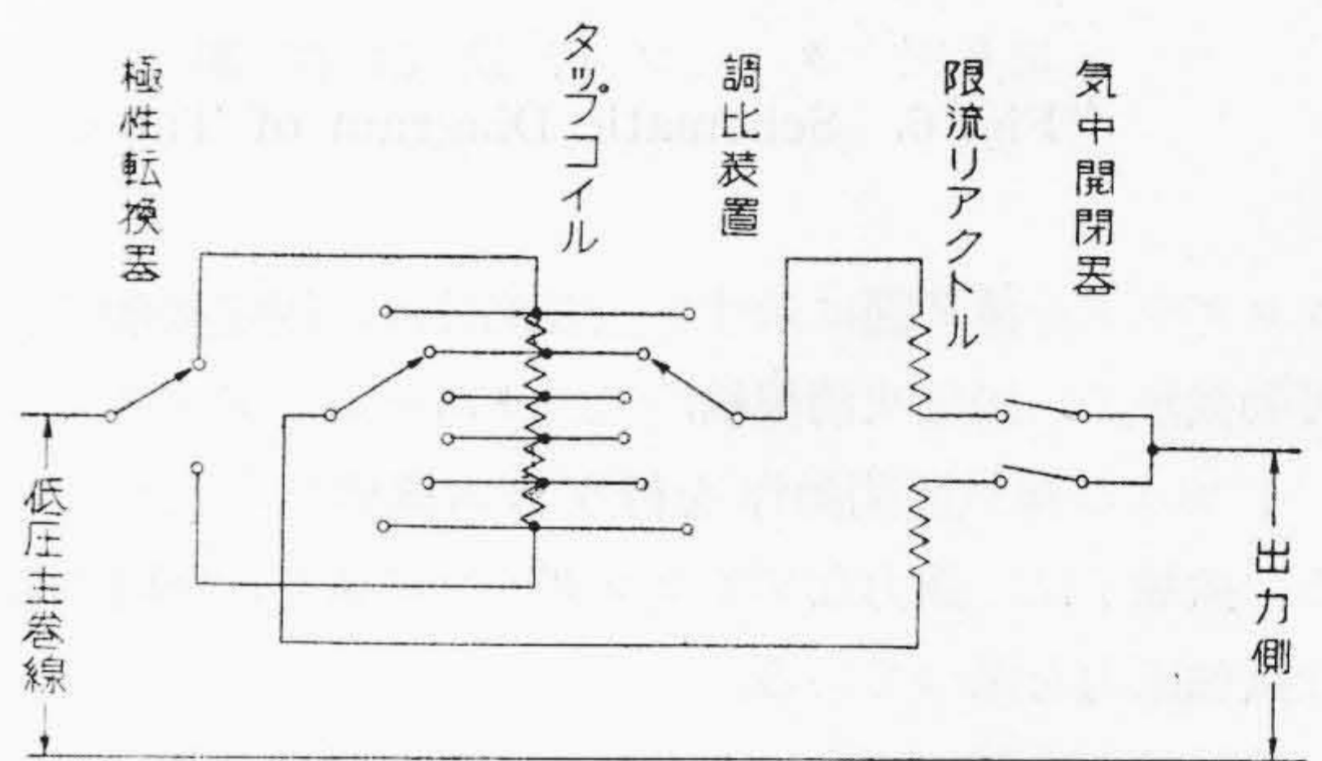
(3) 絶縁処理

変圧器の主体をなすコイルの絶縁処理には、日立シリコンワニスを使用した。一般にシリコンワニスは、従来のA種、B種のワニスに比べて、乾燥温度、塗膜の耐溶剤性、乾燥時の発泡、亀裂、熱軟化、低温時の柔軟性などの諸点が問題となるが、最適の絶縁処理条件を、入念に研究し、電氣的、機械的、化学的にもつとも良好な特性のあらわれる処理方法を見出して、これを標準の絶縁処理法としている⁽⁵⁾。

第4図は、モデルコイルの振動試験の状況を示すもので、構内の振動条件の悪い線路上を、延べ400km走行した結果、ワニス被膜亀裂の不安は、全く杞憂に過ぎないことが判明するとともに、電氣的、機械的になんらの



第 4 図 モデルコイルの振動試験
Fig. 4. Vibration Test for Model Coil



第 5 図 負 荷 時 タ ッ プ 切 換 器 結 線 図
Fig. 5. Connection Diagram of On-Load Tap Changing Equipment

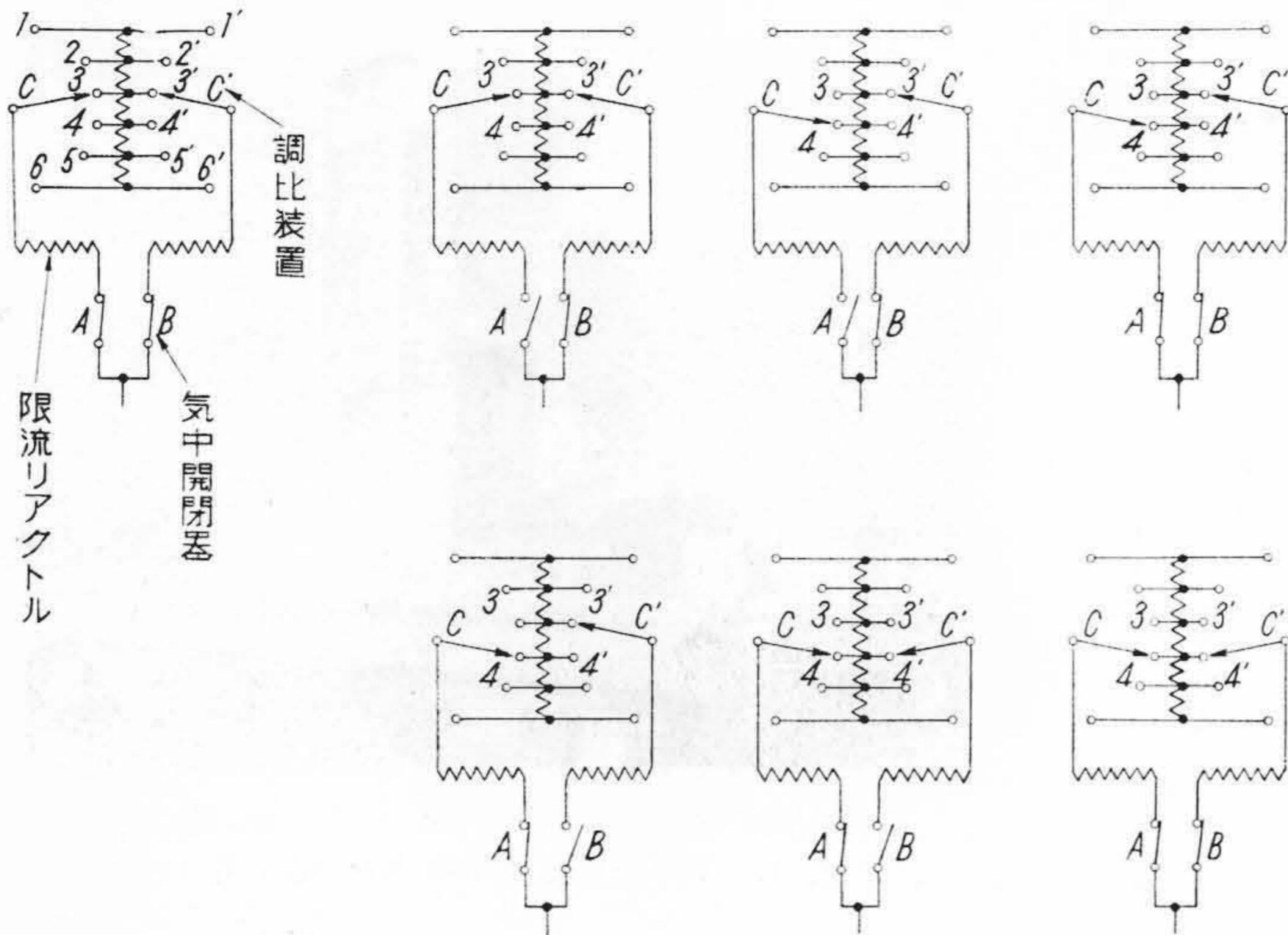
異常も認められなかつた。

(4) 乾式負荷時タップ切換装置

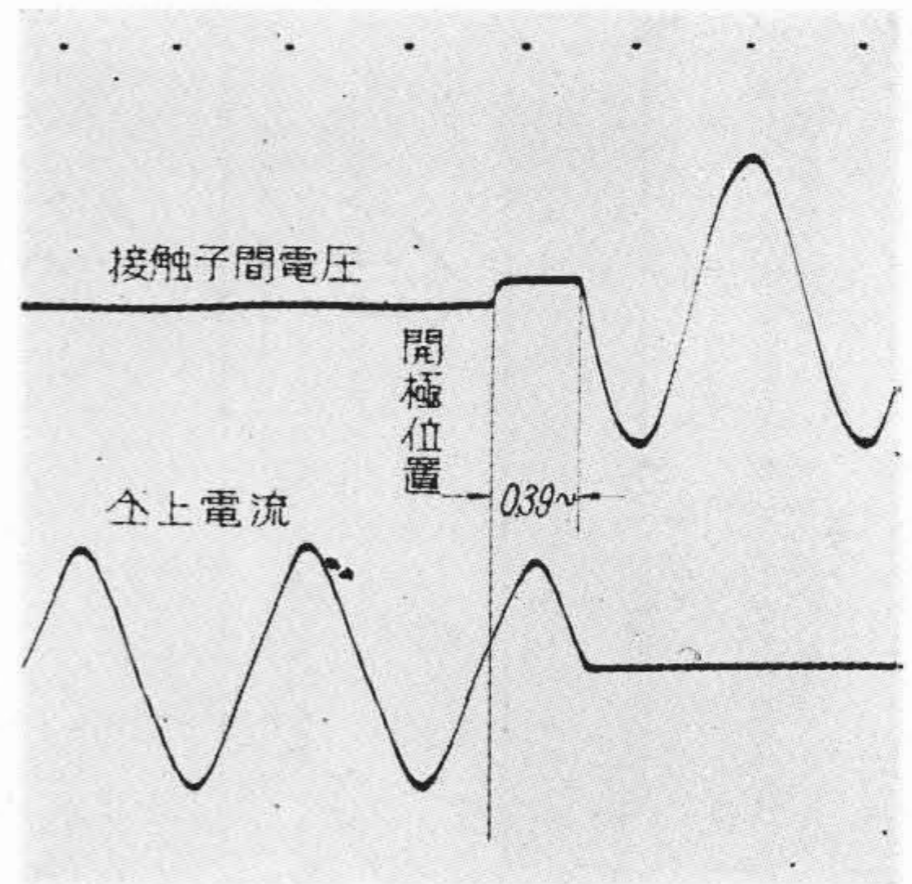
本装置は、絶縁油を全く使用せず、磁気吹消線輪付開閉器、調比装置、間歇操作機構、極性転換器、限流リアクトルおよび電動操作機構よりなり、変圧器本体に隣接してキュービクル内に納められている。その接続を第5図に示す。

タップ切換の順序は、第6図に示す通りである。図例のごとく、タップ3から4へ移るときは、電動または手動により操作軸を回転して、まず開閉器Aが開き、Aに流れていた電流を開閉器Bに移す。ついで調比装置が動作して、可動接触子Cがタップ4に切換えられ、開閉器Aが閉ちて、限流リアクトルの巻線には、タップ3—4間橋絡による横流が、負荷電流に重畳する。さらに操作軸の回転により、開閉器が開き、可動接触子C'が4'に移り、Bが閉ちる。これでタップ3—4間の切換が完了したわけである。

磁気吹消線輪付開閉器は磁気吹消作用により、アークが短時間に確実に消弧される利点がある。遮断時のオッ



第6図 タップ切換動作順序説明図
Fig. 6. Schematic Diagram of Tap-Changing



第7図 接触子遮断オシログラム
Fig. 7. Oscillogram of Voltage and Current in Switching

〔IV〕 制御装置ならびに保護装置

本変圧器の設置される堂島変電所は1.6 km はなれた福島変電所から遠方監視制御される無人変電所で、本器2台が並列運転を行う。

制御装置、保護装置は概略下記のごとくである。

(1) 制御装置

制御方式は自動電圧調整方式であるが、手動運転も任意に切換えて行うことができる。自動電圧調整を行う場合、一時的な電圧変化に反応せず、電圧の持続的変動に応じて、タップ切換を行わしめるため、電圧調整継電器に限時継電器を組合せ、線路電圧の持続的変動であることを確認してから、タップ切換を行つている。また並列運転における制御装置としては、操作機構の時間的異なるを補正するため、歩進装置が用いられている⁽⁶⁾。

(2) 保護装置

内部短絡、層間短絡、接地などの故障に対しては、比率差動継電器を使用し、並列運転時のタップづれによる横流に対しては、変圧器双方の低圧側変流器を交叉接続し、その差動回路に挿入した過電流継電器により保護している。タップ切換渋滞に対しては、切換操作を開始すると同時に付勢される限時継電器により、保護している。変圧器の過熱に対する保護は、巻線温度に対応してあらかじめ設定された警報接点付温度計を使用し、電動送風機の故障に対しては欠相継電器を使用している。

シログラムを第7図に示す。主要部分は、固定接触子、可動接触子、磁気吹消線輪、アークホーン、アークシュートおよび接点開閉動作を行うカム機構からなっている。接触子は、強力なワイピングバネにより、閉時十分な接触圧力を保っている。

接触子の外側には、アークシュートが設けられ、その外側に吹消線輪磁鉄板があつて、消弧性能を向上せしめている。アークシュートは、耐アーク性に富み、きわめて秀れた消弧性能を有するジルコン磁器を使用し、長期にわたる使用に対し、十分の信頼度を確保している。

接触子の寿命は、JEM規格による条件で試験を行い、2種すなわち電氣的寿命25万回以上に十分余裕を以て合格している。

調比装置は、各相11箇の固定接触子、各相2箇の可動接触子を主要部分とし、間歇送り機構、電動操作機構により、前記開閉器と関係運動を行うようになっている。各相の可動接触子が移動するとき、第7図に説明のごとく、その回路は開閉器により、開かれているため、アークを発生しない。したがつて使用中における接触子の損耗はほとんど起らない。

限流リアクトルは自冷式三相内鉄型で、コイルの絶縁は変圧器本体と同じく、シリコンワニスによるH種絶縁である。

前記開閉器、調比装置の絶縁物は、磁器、シリコン製品を使用し、火災の懸念を一掃している。また間歇送り機構、電動操作機構などの回転軸軸承部には、長期無注油運転の可能な多孔性特殊合金を使用し、保守の簡潔化を図つている。

〔V〕 配線

変圧器キュービクル内における配線は、使用温度に応じて、本体用にはシリコンガラスマイカ被覆電線、制御用にはシリコンゴム被覆電線が使用された。なお外部の引込線は、日立製作所日立電線工場製 GRI ケーブ

ルが使用れた。この高圧側 GRI ケーブルは、20 kV 3 芯 150mm² ブチルゴム絶縁ネオプレーンシース電力ケーブルで、その外径が100 mm, 巻かれたドラムは鏝径 2.6 m というドラム規格では最大のもので、この種ケーブルでは記録的な製品である。

〔VI〕 結 言

シリコンによる絶縁方式と、気中タップ切換装置の完成により、乾式変圧器といえども、負荷時タップ切換を行つて、定電圧を維持し、電力系統の質的向上が可能となつた。絶縁油を全く使用しないため、安全性が増し、機器は美しいキュービクル内に収納され、保守は簡潔になるなど、変電所の設計に飛躍的な進歩がもたらされたものと信ずる。

以上、新しい分野の負荷時タップ切換変圧器の概要をのべ、関係各位の御支援と御鞭撻を賜るべく、御参考に供したしだいである。

なお末筆ながら、本変圧器製作にあたり、御協力をいただいた関西電力の各位に、深甚の謝意を表するとともに、絶大なる御援助を賜つた日立製作所日立工場制御器設計課、日立絶縁物工場、日立電線工場、多賀工場の関係各位に衷心より感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 高木, 内山: OHM 42, 9 (昭30-8)
- (2) Melvin L. Manning: TAIEE 70, 1427 (1951)
- (3) W.W. Latterlee: TAIEE 63, 701 (1944)
- (4) 日本特許出願中
- (5) 中牟田, 植木: 日立評論 別冊 13, 93 (1956-3)
- (6) 桜木, 大音: 日立評論 別冊 7, 27 (1954-7)

日 立 製 作 所 社 員 社 外 寄 稿 一 覧

(昭和31年6月受付分)

寄 稿 先	題 目	執筆者所属	執 筆 者
原子力工業	天然ウラン重水炉, とくに国産一号原子炉の設計について	日立工場	松 本 政 吉
日本機械学会	水 車 の 振 動	日立工場	林 田 穰
日本鉄鋼協会	13% Cr 鋼の機械的強度におよぼす鍛造比の影響	日立工場	小 野 健 二 佐々木 良 一
熔接学会	車 輛 製 作 に お け る 熔 接 設 備	笠戸工場	矢 部 満
鋳物協会	歯 車	亀有工場	西 山 太 喜 夫
日本機械学会	80 t 塔型水平引込クレーン	亀有工場	川 勝 康
印刷学会	二回転印刷機の版盤駆動方式について	川崎工場	猪 島 正 雄
日刊工業新聞社	超硬バイト再研削技術とその管理	川崎工場	八 木 研 司
三菱レイヨンK.K.	扇風機ガードマーク取付装置	多賀工場	四 倉 輝 夫
オーム社	扇風機の性能は何によつて表されるか	多賀工場	藤 井 俊 雄
日本事務能率協会	新しい人事管理事務(第二章)人事管理の基盤となるもの	戸塚工場	溝 井 正 人
日本電機工業会	欧 米 素 見	戸塚工場	橋 本 真 吉
テレビジョン学会	異周波アンテナの並列給電法(その1)	戸塚工場	古 谷 勝 美
日刊工業新聞社	ヒタチテレビジョン F-100 型受信機	戸塚工場	真 利 藤 雄
商業英語出版社	欧 米 グ リ ン プ ス	戸塚工場	橋 本 真 吉
日本事務能率協会	新 しい 人 事 管 理 事 務	戸塚工場	溝 井 正 人
真空技術研究会	チ タ ンの ガ ス 吸 収 に つ い て	茂原工場	岩 柳 秀 夫
電気通信学会	6,000 MC 用進行波管およびレフレックスクライストロン2 K44の試作	中央研究所	沢 田 良 嘉
電気学会	折 線 近 似 函 数 発 生 器 の 改 良	中央研究所	三 浦 武 雄 沼 倉 俊 郎
高分子学会	ポリビニルアルコールの沈降速度と溶液の不安定性	中央研究所	黒 崎 重 彦
電気学会	Describing Function Method による非線型自動制御系の解析	中央研究所	沼 倉 俊 郎 三 浦 武 雄
電気通信学会	電子流分配型真空管回路の研究(その1)	中央研究所	阿 部 善 右 衛 門
電気通信学会	電子流分配型真空管回路の研究(その2)	中央研究所	阿 部 善 右 衛 門
電気通信学会	電子流分配型真空管回路の研究(その3)	中央研究所	阿 部 善 右 衛 門
応用物理学会	永久磁石励磁電子レンズ系の一型式とその特性	中央研究所	本 村 博 一
火力発電技術協会	関西電力 K.K 堺発電所 No. 4 タービン発電機の油ホイップ防止作業について	大阪営業所	小 川 総 雄
小峰工業技術	MAPI 方 式 の 適 用 例	本 社	村 川 武 雄
I. B. M. 研究会	支 払 済 領 収 証 整 理 の 機 械 化 に お け る カ ー ド 歩 溜	本 社	鍛 塚 茂 則
課外教室社	家 庭 電 化 に 必 要 な 器 具 に つ い て	本 社	和 田 可 一

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	222448	電 磁 接 触 器 の 火 花 樋	日立工場	松村睦夫 滑川島詢 辛泉千吉	31. 5. 21
"	222449	電 磁 接 触 器 の 火 花 樋	日立工場	垣川島詢 滑辛泉千吉	"
"	222455	電 磁 接 触 器 の 電 弧 樋	日立工場	垣村睦夫 松宮徳太郎	"
"	222458	超同期電動機安全起動装置	日立工場	御法川潔	"
"	222461	超同期電動機起動装置	日立工場	稲木利市	"
"	222465	抄紙機運転たるみ制御装置	日立工場	田附藤橋一	"
"	222466	発電機過電圧抑制装置	日立工場	今田附藤橋一	"
"	222467	正弦波電圧発生装置	日立工場	田附藤橋一	"
"	222470	自動制御用変化検出装置	日立工場	田附藤橋一	"
"	222471	電動機電流変化検出装置	日立工場	田平憲一	"
"	222472	電 車 制 御 装 置	日立工場	石坂憲一	"
"	222473	電動発電機の定速度運転装置	日立工場	石坂憲一	"
"	222475	電動台車の電動機吊架方式	日立工場	石坂憲一	"
"	222477	複数電動駆動群の速度同調制御装置	日立工場	坂田眞正	"
"	222468	セメントカー冷却装置	笠戸工場	松浦山藤太郎	"
"	222469	セメントカー冷却装置	笠戸工場	中村月村正	"
"	222450	流体圧を協働せしめたブレーキ	亀有工場	大西岡一	"
"	222453	円 形 水 車	亀有工場	堀岸野田正俊	"
"	222474	ウエスコ式渦巻ポンプ	亀有工場	堀田正	"
"	222476	揚炭管の逆流防止方式	亀有工場	寺田進	"
"	222454	点 火 栓 体	多賀工場	柏田五堅	"
"	222459	同期電動機の起動および運転装置	多賀工場	上村民夫	"
"	222460	同期電動機の起動および運転装置	多賀工場	上村民夫	"
"	222464	ベルト伝達安全装置	多賀工場	横江村邦三	"
"	222452	蛍光灯点灯装置	亀戸工場	森泉袈裟	"
"	222377	多数共同如入者相互呼出方式	戸塚工場	西島喜平	"
"	222451	マジック Y 分岐回路	戸塚工場	関口存哉	"
"	222457	中空電気導体	日立電線工場	岩田寿郎	"
"	222462	高周波電気導体	日立電線工場	安宅彦三	"
"	222463	ビニール多心絶縁電線端末部水密加工方法	日立電線工場	大竹政純	"
特 許	222456	ロールの鋳造法	若松工場	大宮下高忠	"
実用新案	444865	デリッククレーン制御装置	日立工場	滑川清	"
"	444866	同期機自動調整装置	日立工場	広吉秀高	"
"	444867	エレベータ位置表示装置	日立工場	酒井真平	"
実用新案	444868	エレベータ信号表示器	日立工場	酒井真平	"

(第46頁へ続く)