

東京電力株式会社 納

鶴見第二発電所および新東京発電所用 81,000 kVA タービン発電機

81,000 kVA Turbo Generator for Tsurumi No. 2 Power Station and
New Tokyo Power Station, Tokyo Electric Power Co., Ltd.

菊地弥十郎* 是井良朗*

内 容 梗 概

火力発電計画もようやく活況を呈し、タービン発電機の単位容量は飛躍的に増大しつつある。昨年春日立製作所で完成された東京電力株式会社鶴見第二発電所および新東京発電所用 81,000 kVA タービン発電機は本邦の記録品であるとともに種々の新しい設計が採用された画期的な製品である。

本機は鉄道輸送制限の関係上分割輸送の方式が採用されたが、主要部は分解することなく一体のまま貨車積され、この方式でさらに大容量機まで一体輸送できる自信をえた。また高速回転機として最も問題の多い軸材についても国産優秀品が入手され今後の大容量化の傾向に対しても明るい見通しをあたえた。

水素冷却方式では連続掃気式が採用されて、系統の簡単化保守の容易化が計られており、信頼度もはなはだ高い。

その他細部にわたって慎重に検討して製作した結果は、保証値を遙かに上廻る優秀な性能を示したことは勿論、振動においても $1/100$ mm 以下の非常に静かな機械を製作し、あらゆる点から好評をえた。これらの結果はさらに大型化されつつあるターボ発電機に対して十分の自信を固め、つぎの飛躍が期待される。

〔I〕 緒 言

戦後 10 年を経て、日本の火力発電は米国の影響を受け、未だかつてない驚異的な発展をとげてきた。昨年のはじめ日立製作所では東京電力株式会社鶴見第二発電所用 81,000 kVA のタービン発電機 1 台、さらに引き続き新東京発電所用の同容量の発電機 1 台を完成し、いずれも好調裡に営業運転に入っている。これらはいずれも 3,000 rpm 機としては、日本における最大容量の記録品であつて、水素冷却方式を用い、一見しても従来の発電機から一段と飛躍した形であることがわかるように、細部にわたって種々の新しい設計が用いられた。本機の完成は今後の火力発電機の発展に対して、きわめて意義深いものがあり、こゝに本機のおもな点を述べ参考にする次第である。

〔II〕 発 電 機 仕 様

発 電 機:

定格 連続

水素圧力 0.035 kg/cm² にて 70,588 kVA水素圧力 1.0 kg/cm² にて 81,000 kVA

出 力

水素圧力 0.035 kg/cm² にて 60,000 kW水素圧力 1.0 kg/cm² にて 66,000 kW

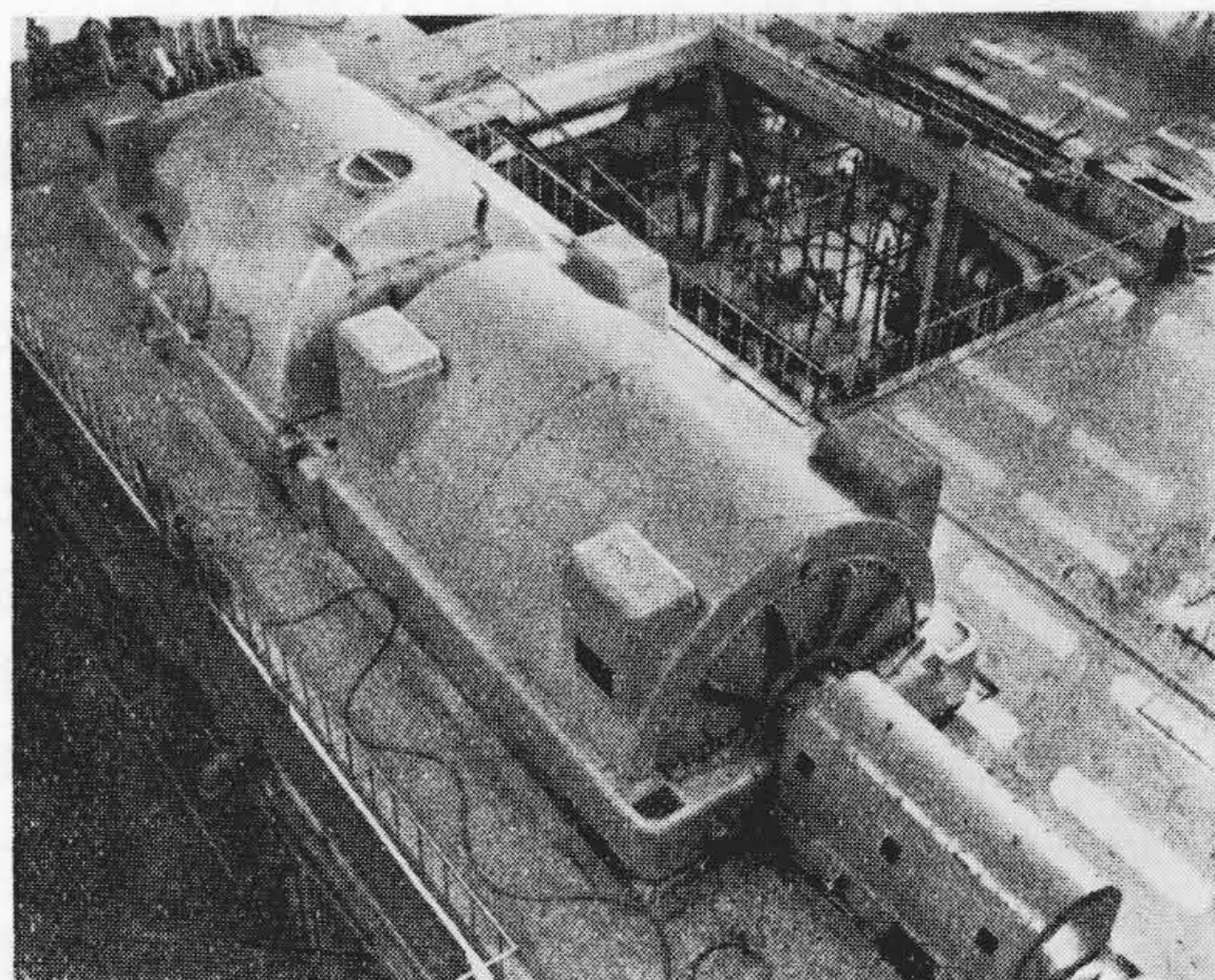
力 率

0.85 (70,588 kVA に対して)

0.815 (81,000 kVA に対して)

電 圧

13,200 V



第 1 図 81,000 kVA 水 素 冷 却 発 電 機
Fig. 1. 81,000 kVA Hydrogen Cooled Generator

回転数 3,000 rpm

周波数 50~

中性点 抵抗接地

接 続 二重星型結線 6 本口出

主励磁機: 出力 230 kW, 電圧 250 V,

回転数 3,000 rpm

副励磁機: 出力 3 kW, 電圧 110 V,

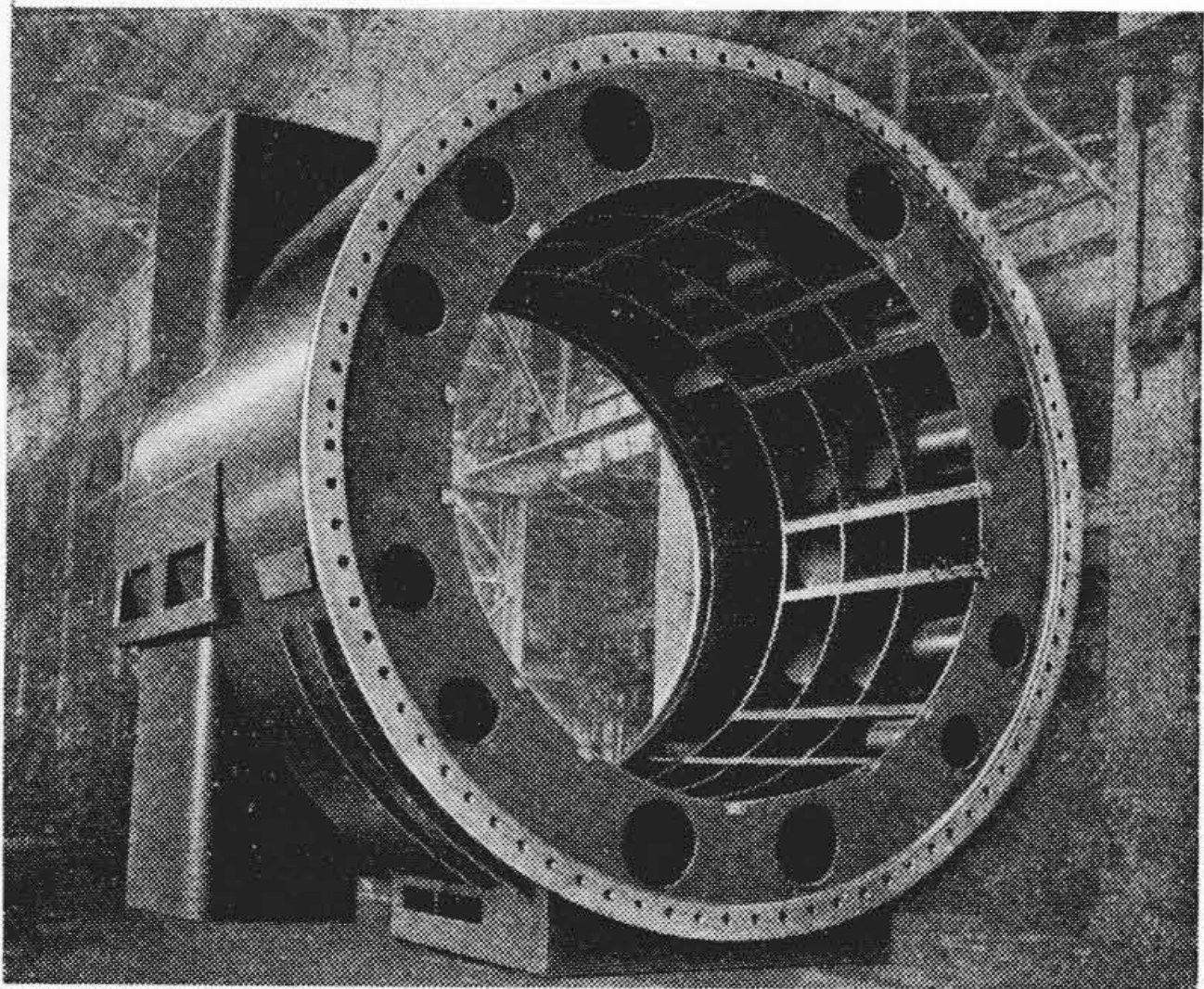
回転数 3,000 rpm

〔III〕 発 電 機 の 構 造

(1) 固 定 子

第 1 図はすでに運転に入っている本機の外観である。本機は水素冷却方式を採用しているため、固定子枠側板

* 日立製作所日立工場



第2図 固定子外枠
Fig.2. Stator Outer Frame

および端板をもつて、外気と遮断し気密を保つ構造とし、これらは万一機内ガスに爆発が起つても、絶対に安全であるだけの強度が持たせてあることは勿論であるが、同時にこれらは第1図に見られるように、直接発電機の外殻ともなるため、外観をよくするように注意を払った。

本機のような大容量機にあつては、固定子を一体にしてつくる場合は、寸法的にも重量的にも鉄道の輸送制限を受けるために、特殊構造とする必要があり、二つの発電機に対してそれぞれつぎのような異つた方法を用いてみた。

一つは鉄心部と固定子外枠とを別々に完成し、現地で組合わせて一体のものとする方法で、外枠はさらに2分割して送った。鉄心部は外枠とは別箇の小さい枠を用い、この枠に磁気吸引力による2倍周波数の振動を与えないようバネを介して鉄板が積まれ、線輪を入れ電氣的

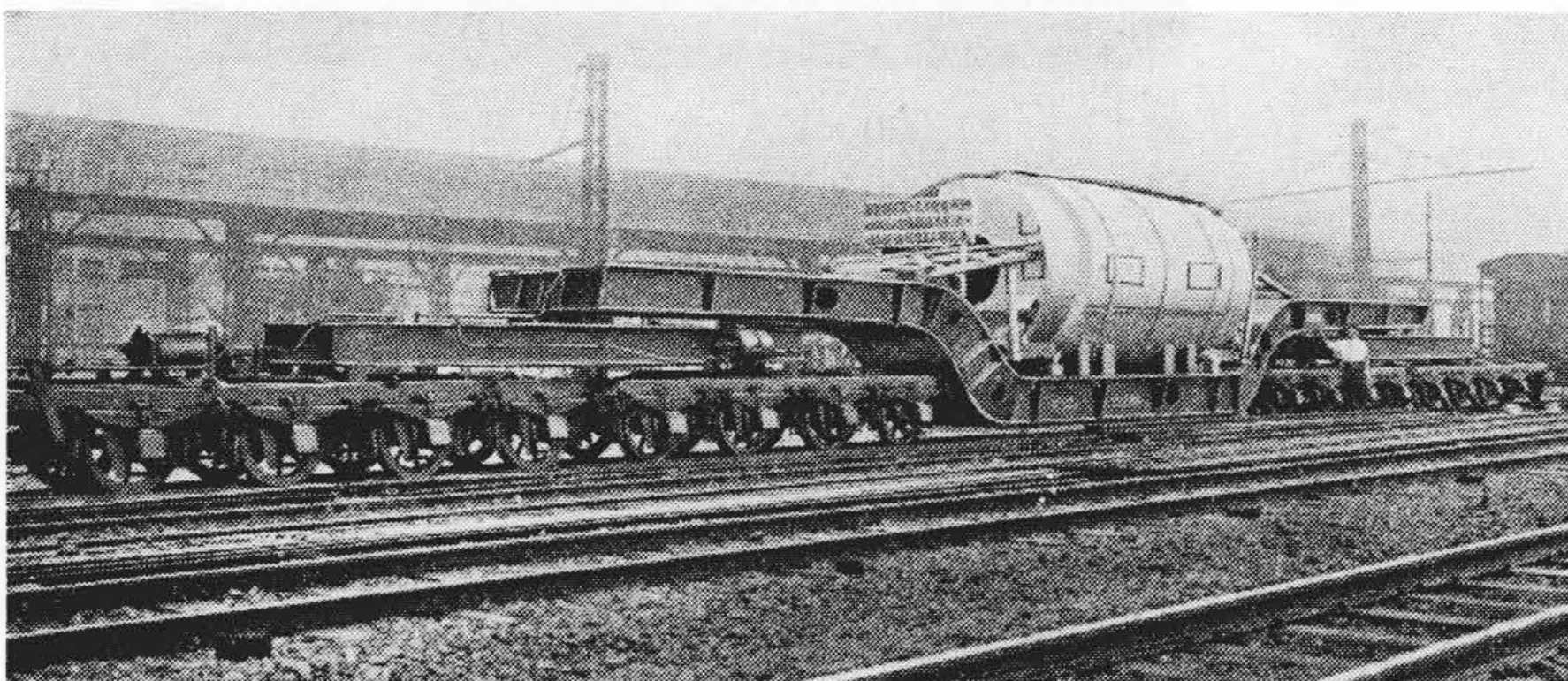
に必要な部分を一体のものとして完成し、この鉄心部を機械的に保持するに足る外枠へ挿入して一体のものとするもので、第2図はこの外枠を、第3図は貨車に積まれた鉄心部を示す。

別の方法は鉄心部と外枠とを一体としたもので、従来のものとなんら異なるところはないが、このまゝでは重量、寸法ともに輸送限界を越えるため、水素冷却器の取付部分など、鉄心部を保持するに不必要な部分を別のものとし、固定子として真に必要な部分のみを一体とし、これを第4図に示すような特殊な支持金具と台車を用いて輸送する方法である。

これらはいずれも従来の発電機には見られなかつたもので、今後ますます大容量化される傾向にあるターボ発電機に対して、このいずれもが現地においてなんら支障なく順調に組立を完成したことは、非常に貴重な実績といわねばならない。

2極機では磁気吸引力によつて鉄心に2倍の周波数の振動が生じることは周知の通りで、これを外枠ないし基礎に伝えないため一般にバネが用いられている。このバネ支持の方法もいろいろあるが、第5図のような全周にわたつて均一に支持する方法を用いた。これは面倒ではあるがある一定方向のみを可撓とする支持よりはるかにすぐれていることはいふまでもない。

固定子線輪および鉄心を有効に冷却するため第6図に示すような複式通風方式を用いた。鉄心背部の固定子枠との間の空間は仕切板によつて軸方向に区割され、それぞれが鉄心ダクトに対し入気室および排気室を形成している。各室は円周方向に配置された多数のバランスパイプで相互に連結されており、水素ガスは各通風路を並行

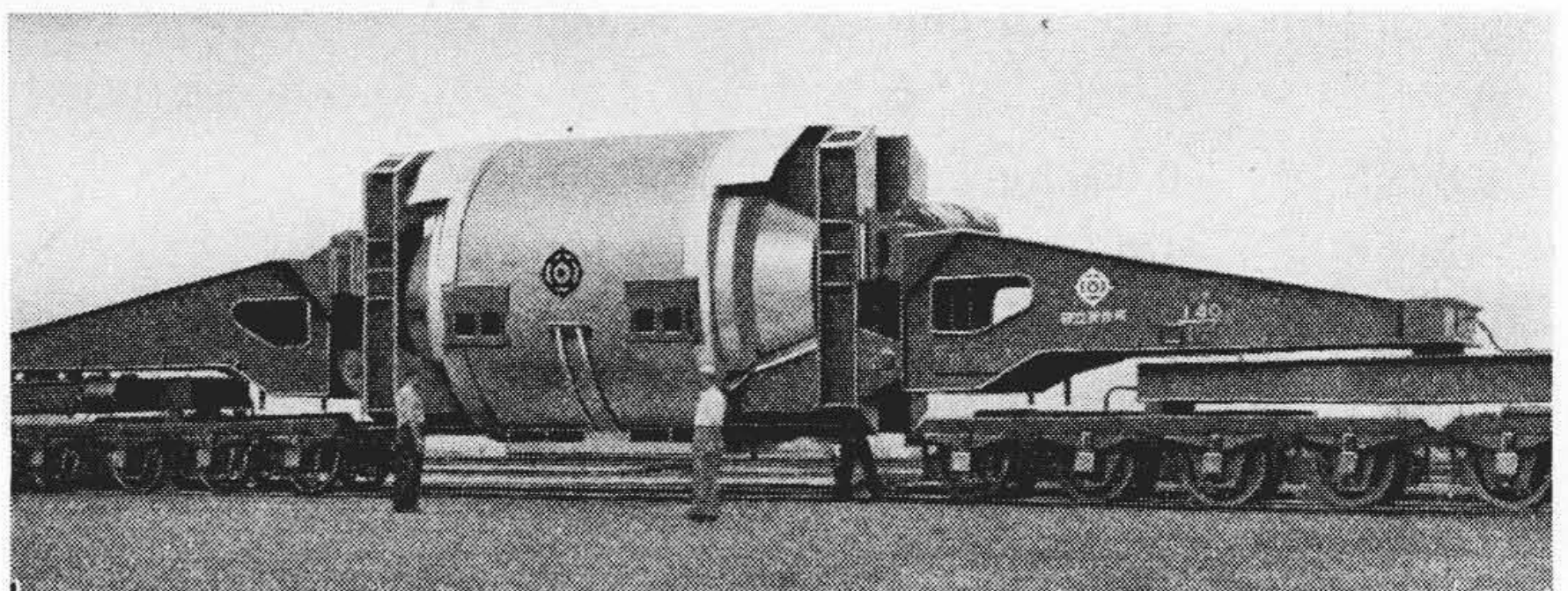


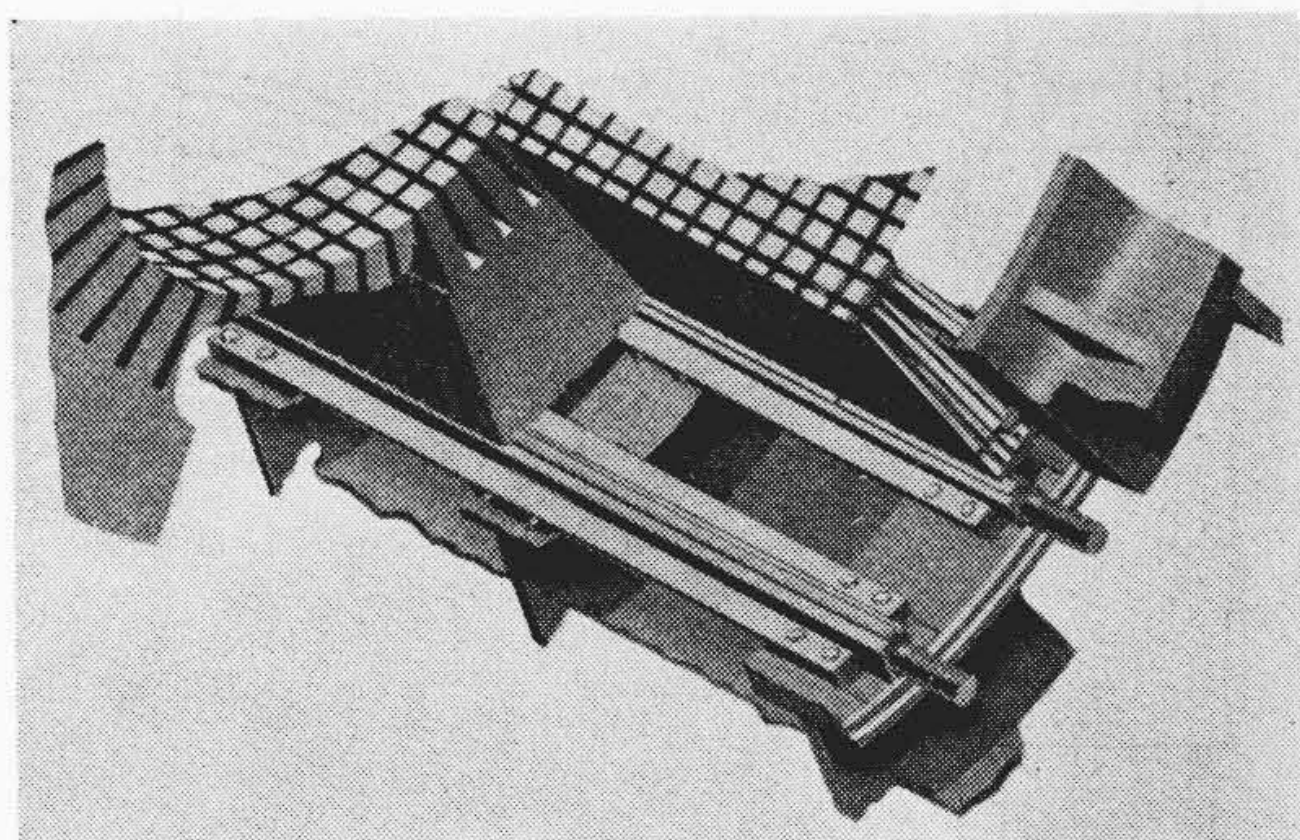
第3図 輸送中の発電機固定子
(その一)

Fig.3. Generator Stator in Transit (Model 1)

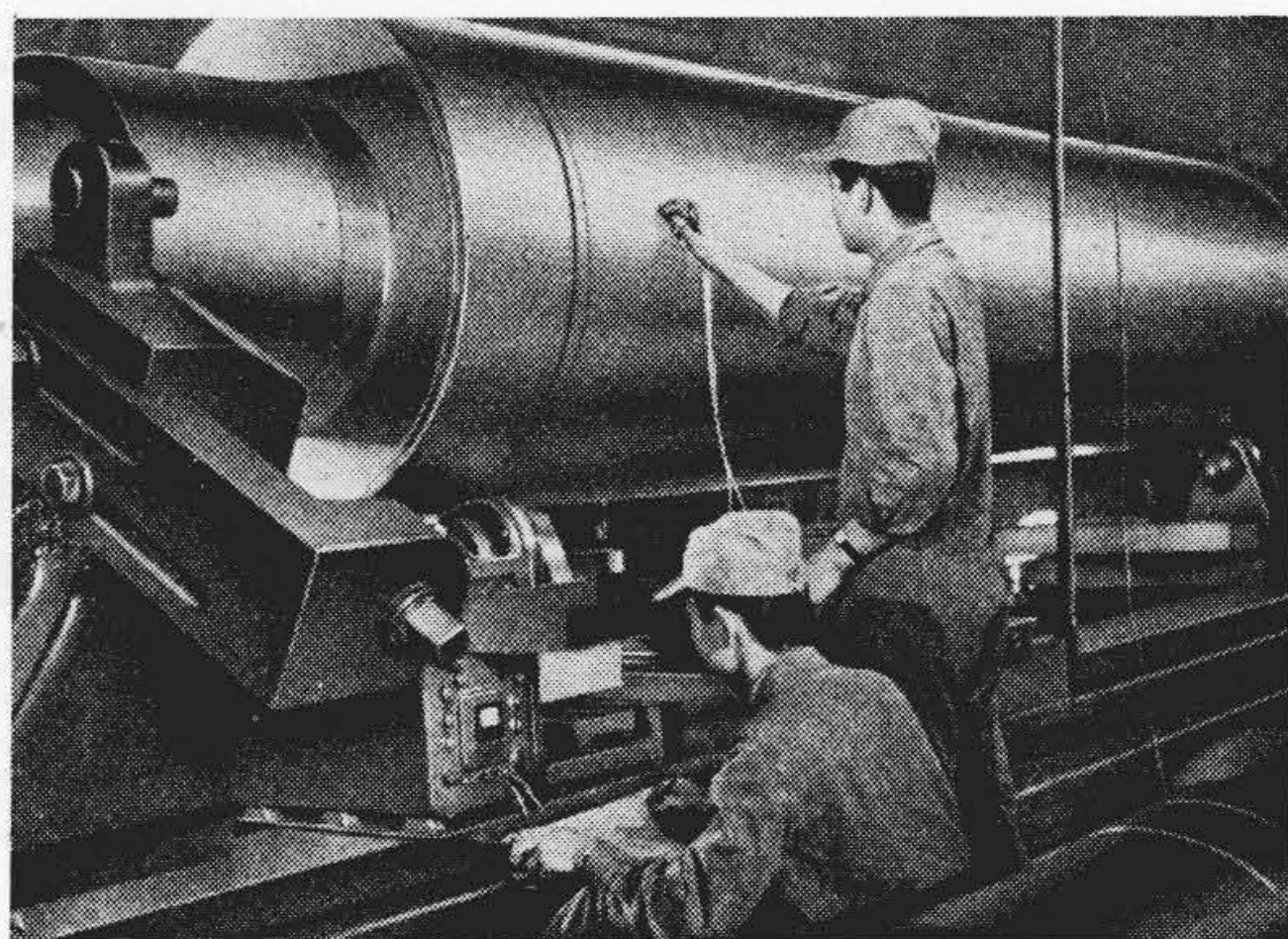
第4図 輸送中の発電機固定子
(その二)

Fig.4. Generator Stator in Transit (Model 2)

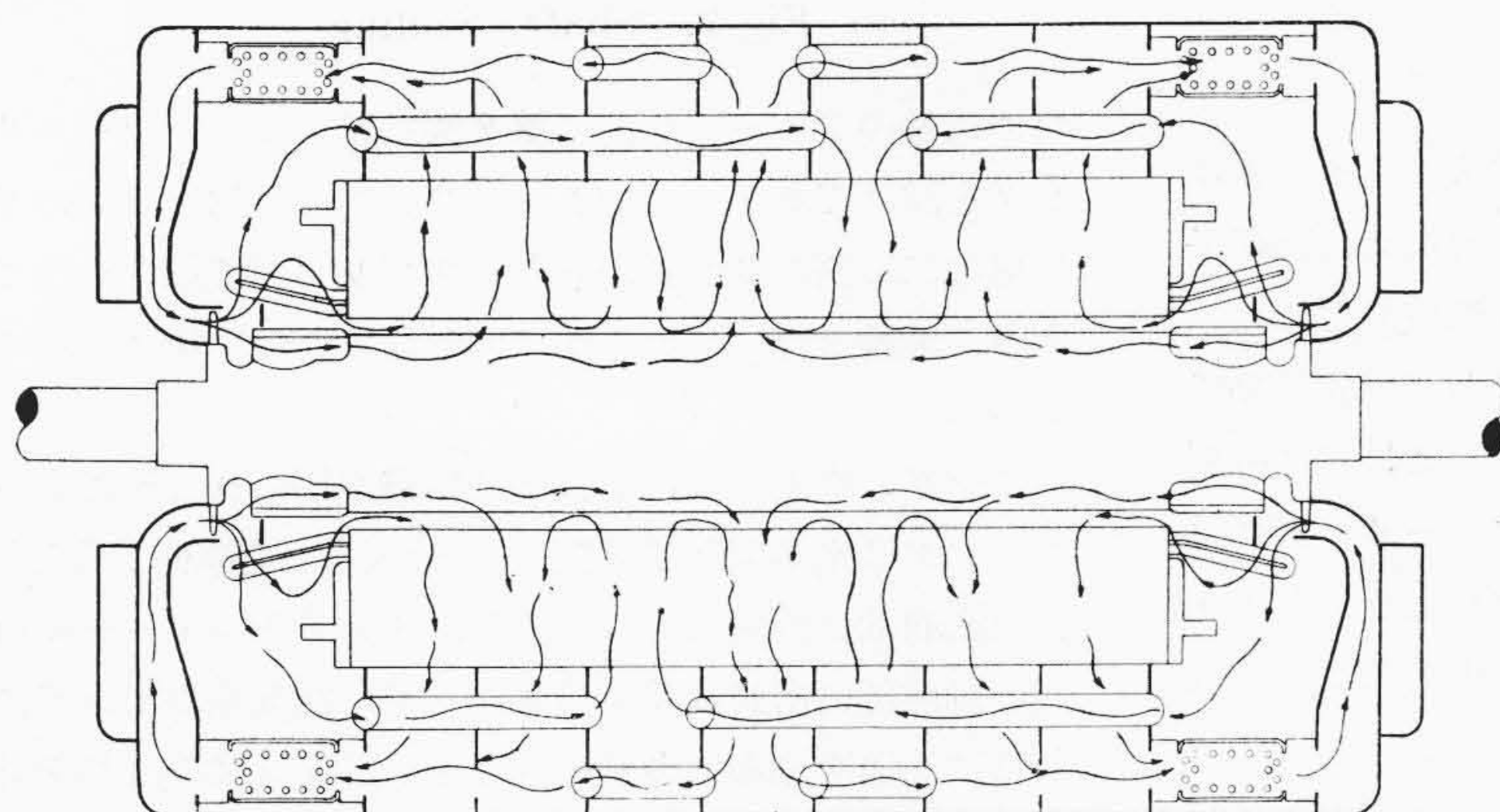




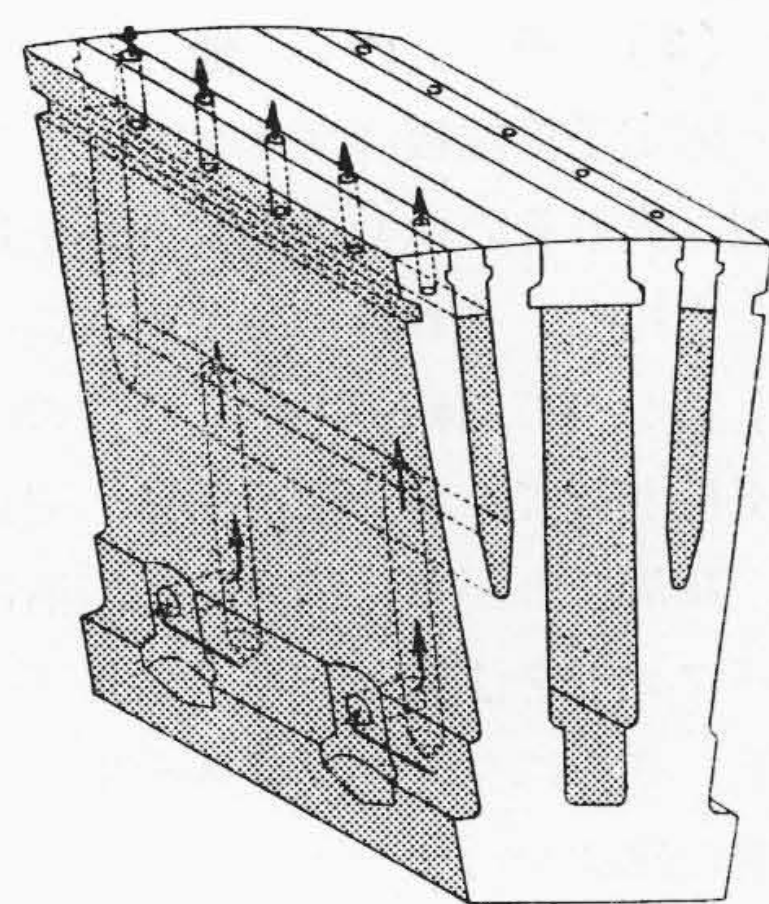
第5図 固定子鉄心の可撓支持
Fig. 5. Armature Core on Spring Mounting



第7図 軸材の超音波探傷試験
Fig. 7. Super Sonic Test for Shaft Forging



第6図 発電機の通風方式
Fig. 6. Generator Ventilation System



第8図 回転子の通風方式
Fig. 8. Ventilation System of Rotor

に流れた後一束となつて水素冷却器を通過して、回転子両端のファンで送り込まれて同じ循環をくり返す。第6図はこの方式の説明図である。説明を容易にするために送風気用および排気用のバランスパイプを同一断面に示し水素ガスの流れを矢印で示した。この通風方式では水素冷却器を出た冷い水素ガスが最も温度上昇の高い鉄心中央部に直接送り込まれるので、この部分も十分冷却されて各部の温度上昇を均一に保つことができる。

(2) 回 転 子

回転子軸材には高抗張力の磁気的特性もすぐれた Ni-Mo-V 鋼の単一鋼塊を用いた。寸法的にも重量的にも我国の記録的な鍛造品であつて、日本製鋼所のものと米国ベスレーム社のものと各一本ずつを用いた。これらは第7図のようにシャフトをゆるく回転しながら超音波探傷試験を全周にわたつて行い、コアドリルにより深部からの試験片の採取、これら各部の組織など詳細な比較試験を行い、いずれも優劣のないすぐれたものであることが確認された。これは今後さらに大型化される発電機軸材の入手に明るい希望を与えた。

単一鋼塊の回転子では界磁線輪溝が削り出されるため、冷却通風が困難であり、これに対しては第8図に示すように、線輪溝の底に通風溝を設けたほか、歯にも軸方向の通風溝を設け、この両者を特殊工具によつてうがつた横孔をもつて通ぜしめ、非常に効果のある冷却を行わしめている。この歯に設けた通風溝は強度的にもまた不要部の肉を削つて歯根部などに働く応力を軽減せしめる効果をもつておる。また通風に対しては回転子胴部の両側に軸流ファンを設けているが、空気冷却の場合では全損失に対して風損の占める割合は大きく、ファンの外径の増大とともに風損は飛躍的に大きくなる傾向にあるが、水素中では風損は空気中の 10% 以下に減少するため、できるだけ強力なファンを設け通風量を増加せしめる方が得策であつて、本機では回転子外径よりも大きいファンを用い、吸込側には案内羽根を設けて効率のよい通風を行わしめるようにした。

そのほか、界磁線輪は温度の上昇に伴い軸方向への伸びが、遠心力のために拘束されて、熱応力が生じ線輪に圧縮歪を起すことになるため、少量の銀を添加した硬銅

線を用い匍匐限度を高くし、線輪の変形を防いでいる。また回転子の表面には円周方向に無数の細溝を切り冷却表面積を増大せしめるとともに、単相短絡あるいは不平衡負荷時の逆相分電流による表面渦電流を減少せしめ、また固定子鉄心の溝高調波や電機子反作用の高調波分による表面渦流損を減少せしめるようにしてある。また振動に対しては、回転子の磁極に相当する部分とこれと直角方向の線輪溝を持つ部分とでは、あきらかに慣性モーメントが異なり、二つの危険速度をもつことになるため、磁極部分にも円周方向に溝を切り、いずれの軸に対してもしも撓みは同じになるようにしてある。バランスは両端だけでなく中央部でもとりうるようにするなど、いずれもかならずしも新しいことではないが、細部にわたり非常に慎重な考慮を払って製作した。

(3) そ の 他

固定子枠端板はブラケット型とし、従来のペデルタル型と異なりその中心に軸受と軸密封装置をそなえ、回転子を支持し、それ自体で気密構造の一部を形成せしめた。したがって回転子の重量はこの端板を介して固定子枠で支持されている。固定子枠、端板などの合せ目には特別の細溝をうがち、締付後この溝に特殊なシーリングコンパウンドを注入して完全な気密を保たせるようにしてある。さらにフロンガスを用い、漏洩検出器によつて気密の確認を行った。

軸電流防止絶縁は励磁機側の軸受外環の背部および軸密封装置の取付部とで行つてある。

軸受は軸密封装置の外側にあるため、機内に水素ガスを充填したまゝ、軸受をとりはずし簡単に点検できる構造としてあり、また特殊の油切りを用いて絶対に外部へ油の漏れない構造とした。

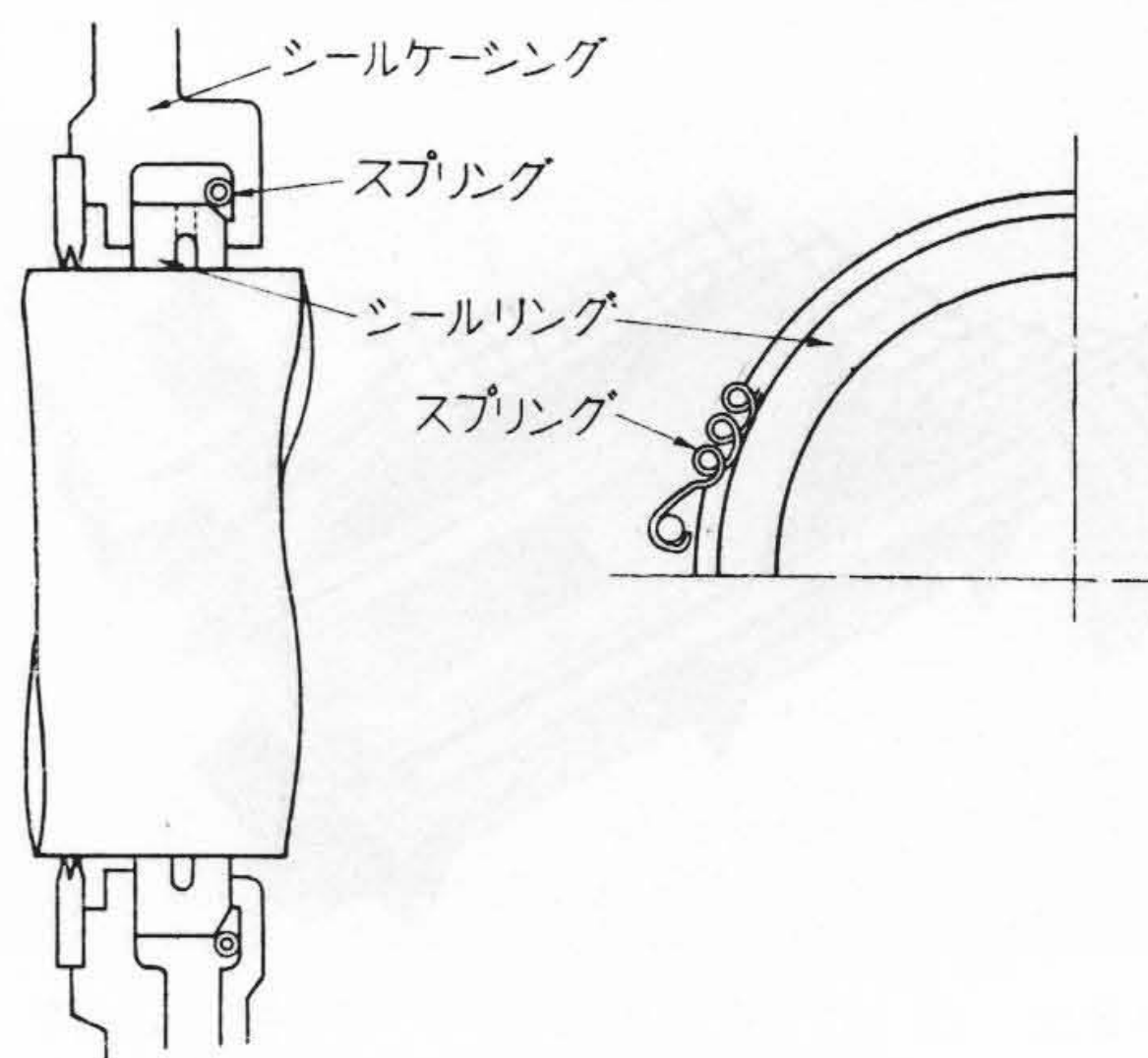
水素冷却器は発電機枠の四隅に縦方向に設置してある。これは横置きに比較して、冷却管の長さが短くてすむこと、分解組立が容易であること、水室の部分が固定子枠の外にあるため、万一水漏れが生じても機内に浸入することがない。また給排水用の配管が発電機室床下で行われるため、外観をそこなわないなどの利点がある。

この冷却器は上下二枚の鏡板間に取付けられたフィン付冷却管よりなり、下部鏡板は冷却器枠に固定されているが、上部鏡板は自由端となつているので、冷却管と枠との熱膨張の差によつて生じる熱応力を逃げるようにしてある。

〔IV〕 水 素 冷 却 方 式

(1) 軸 密 封 部 の 構 造

水素冷却発電機では回転子軸が固定子枠端部を貫通するので、この部分から水素が漏洩する。これを防止する



第 9 図 軸 密 封 装 置

Fig. 9. Shaft Sealing

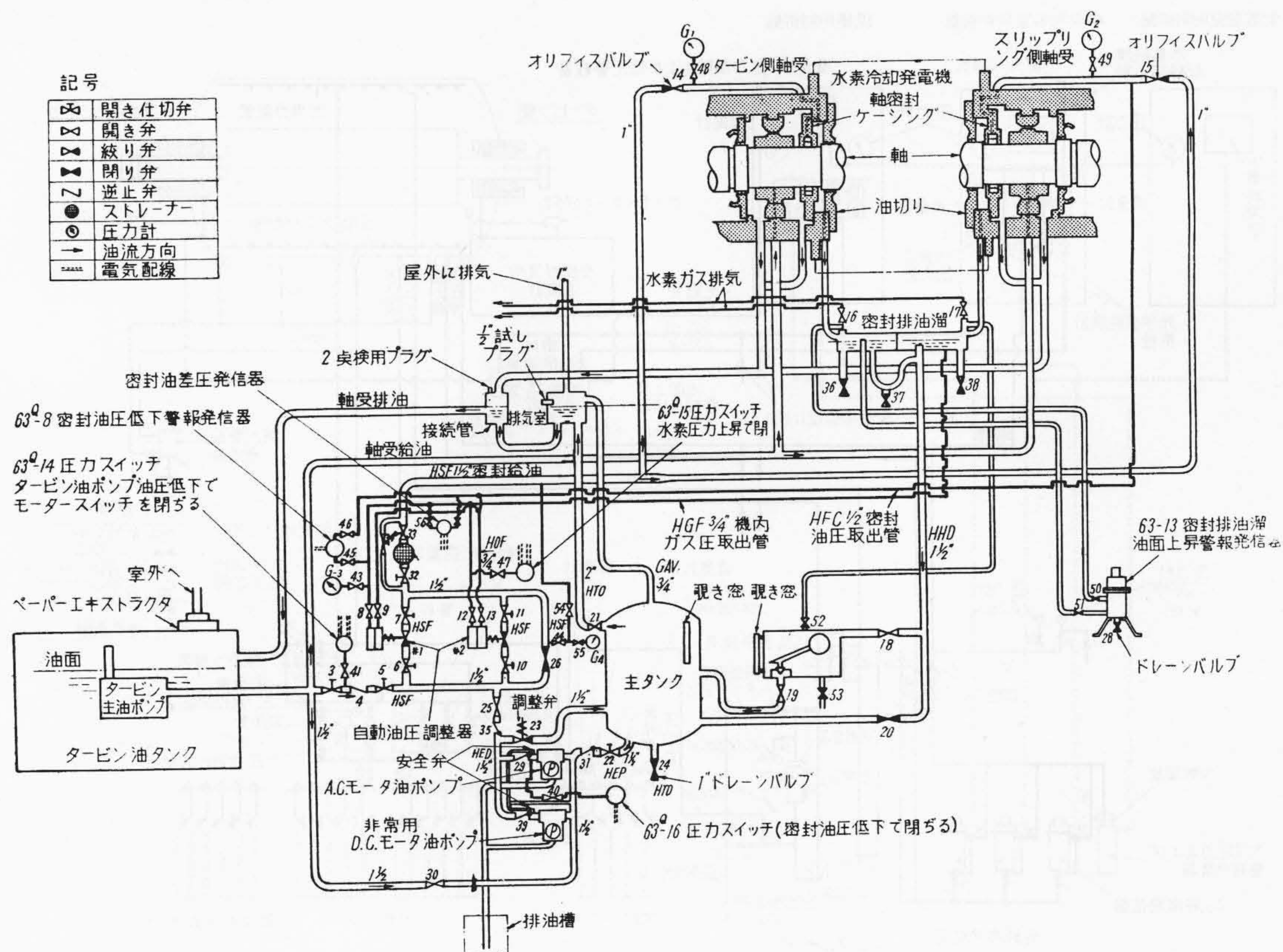
ために軸のジャーナル部に第 9 図に示すようにシールリングを設けてある。このシールリングは特殊合金製の半円形の二つ割のリングからなりスプリングで締めつけてあり、油膜で浮いているが、回転はできない構造としてある。

リングの中央には円周方向に細溝が切られこれによつてリングは水素側と空気側とにわかれ、細溝部に圧入された密封油は両側に分れて流れ、リングとジャーナルの間の細隙部に密封油膜を形成するが、空気側のリングには特に油溝を刻んで多量の油を流してリングの冷却を計り、一方水素側には極く少量の油を流すだけで、十分な密封が保たれるように考慮している。リングが温度上昇するとリングとジャーナルの熱膨張の差によつて間隙が広くなつて密封油量が増し、冷却効果が改善されるのでシールリングの過熱は未然に防止される。

(2) 連続掃気式の採用と密封油系統

本機に採用された密封油方式の最大の特長は密封油に無処理の軸受油を使用したことで、装置が簡単化され、保守が容易となつた点にある。前述のシールリングの水素側に流出した密封排油中に溶解されている空気が、機内に放出されて、水素ガス純度を低下せしめる原因となるので、従来真空処理によつて空気を抽出した密封油を用いてきたのであるが、本機では放出空気によつて純度が低下した水素ガスを連続的に掃気し、一方水素ガスを常時補給することによる新陳代謝で、機内ガス全体の純度を規定値に保つ方式を用いた。これは連続掃気式と呼ばれている方式で、真空処理の装置が不要であるため、系統は非常に簡単になり、保守に便である。この場合の水素の消費量は非常に僅かであつて問題とするに足りない。

第 10 図に本方式による軸密封油系統を示す。常時は軸受給油から分路して給油され、自動油圧調整器によつて

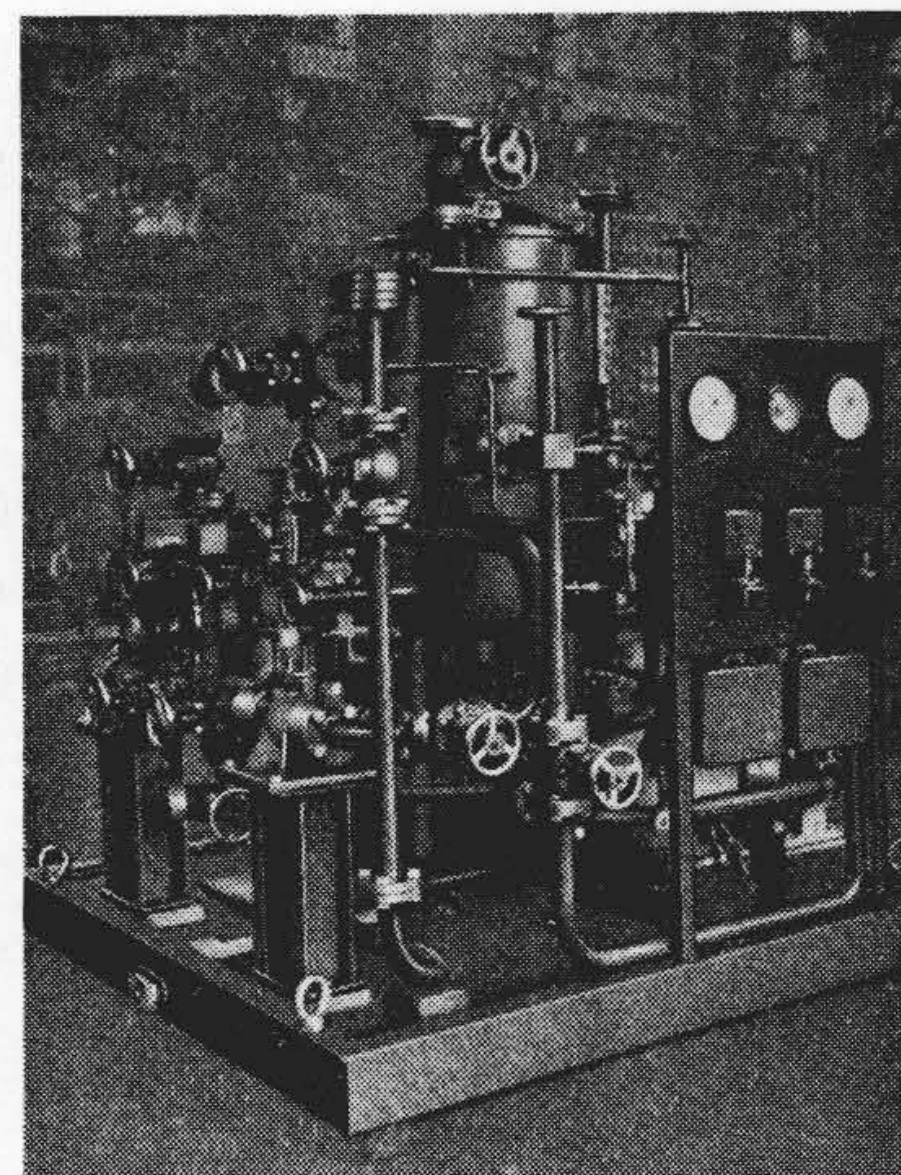


第10図 軸密封系統図

Fig. 10. Arrangement of Shaft Sealing System

機内圧と所定の圧力差を保つように制御されて軸密封部に送り込まれている。シールリングの水素側に流出した密封排油は、固定子の下に取りつけられた密封排油溜に集められ、ここで油中に混在する水素の大きな気泡を放出する。本方式の骨子とする掃気は、この排油溜に取りつけられた二本の掃気管によって行われ、シールリングと内側油切との間の最も純度の低下したガスが掃気されるので、少量のガス補給による新陳代謝で機内ガス純度を保ちうる。排油溜中の油は補助タンク、主油タンク、排気室を経てU字型連結管で接続管に送られ、ここで軸受排油と一緒にタービン油タンクに帰る。

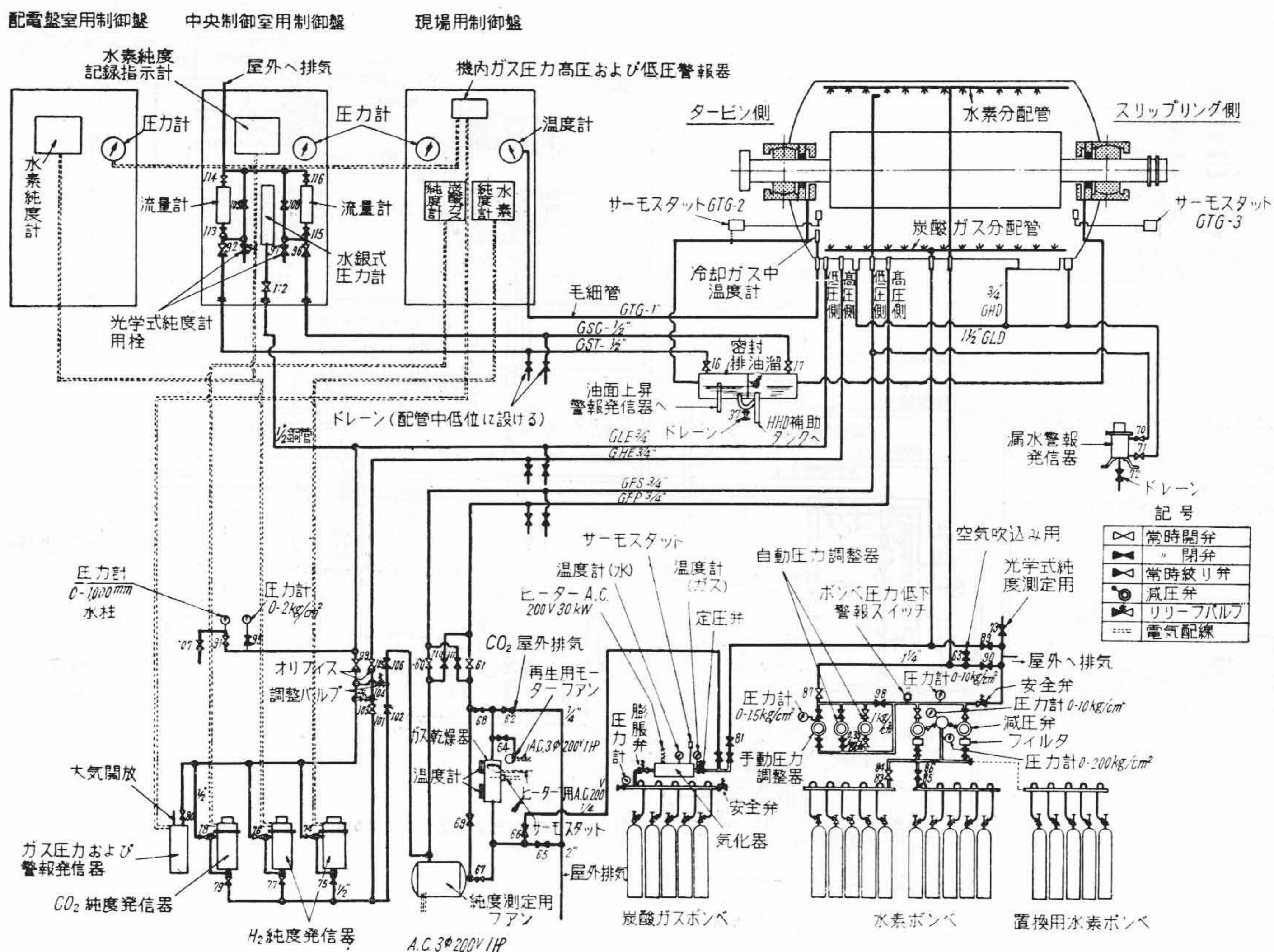
機内の水素ガス圧が高くなったり、または軸受給油の圧力が規定値よりも低くなったりしたときは、A.C. モータ油ポンプが圧力スイッチによって自動的に起動して必要な密封油圧を保つ。このときはタービン油タンクの油はA.C. モータ油ポンプによって逆止弁を経て自動油圧調整器に送られ、ここからは前述と同じ経路で軸密封部に送られる。A.C. モータ油ポンプの油圧が低下した場合には別の圧力スイッチによって非常用 D.C. モータ油ポンプが起動して密封油圧を保つ、さらに油圧が低下した場合には密封油圧低下警報または密封油差圧警報が働い



第11図 密封油装置

Fig. 11. Seal Oil Control Unit

て、注意を喚起することができるので系統の信頼度ははなはだ高い。こうした密封油処理装置は第11図に示すように、一つの台上に体裁よく配置して保守取扱に便利な構造となっている。



第12図 水素ガス系統図

Fig.12. Diagram of Gas Control System

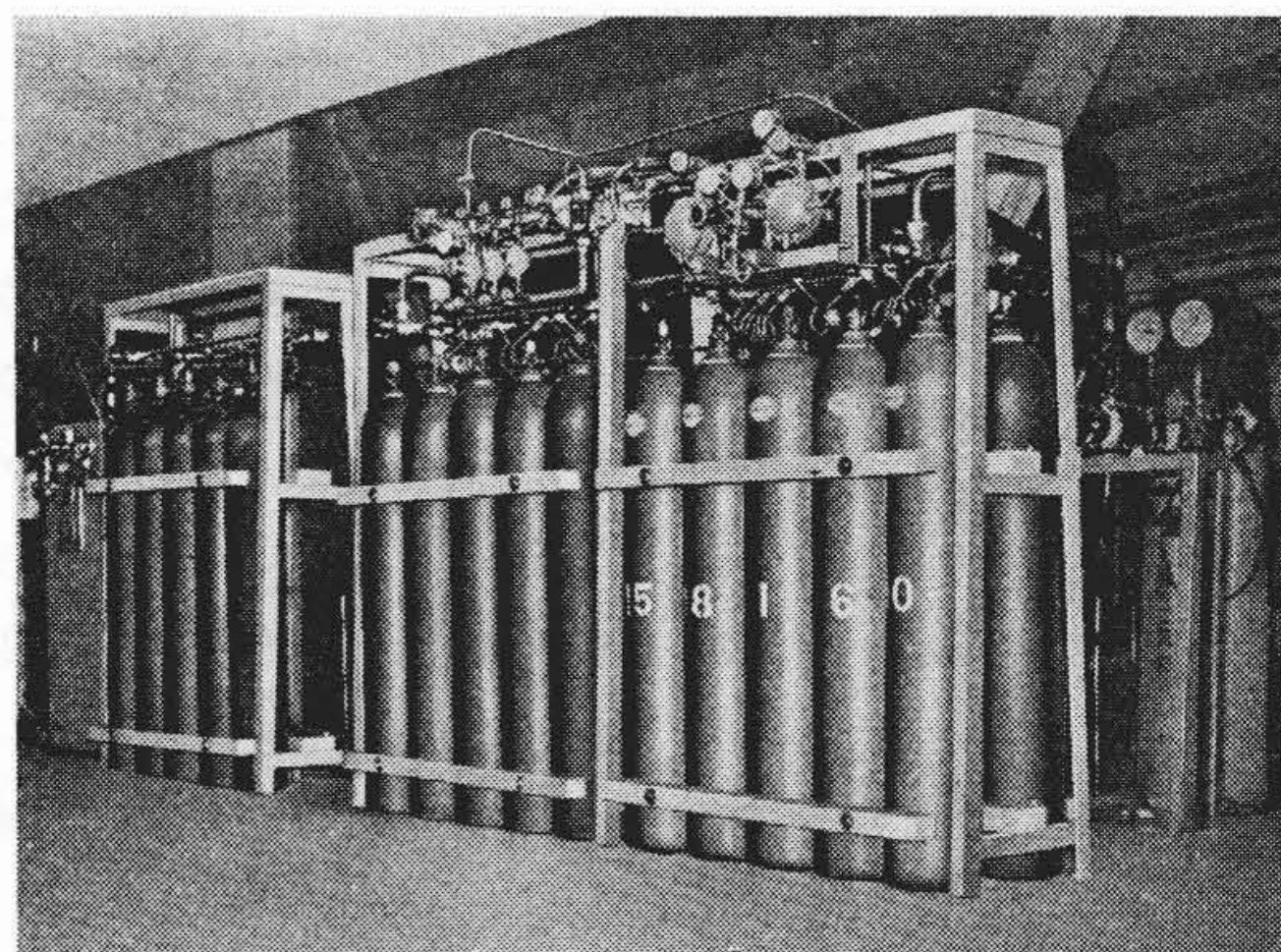
(3) 水素ガス系統

水素ガス系統ではガス置換と、機内ガス圧および純度を規定値以上に保つことが問題であつて、この点では真空処理式に対するものも、連続掃気式に対するものも本質的には相違ない。第12図に本機で採用された水素ガス系統を示す。

水素ガスの置換には炭酸ガスを使用する間接置換法を用いた。ガス置換の方法としては真空ポンプで真空に引いて後水素を充填する直接置換法もあるが、連続掃気式としては不必要な真空ポンプをこのために設置せねばならず、機械が大きくなると真空に引くこと自体が困難になり、真空抜きのために諸種の配管の弁の切換が必要となつて操作も煩雑となり、むしろ間接置換法の方が安全確実に大容量機に適する。

炭酸ガスは液状でボンベに充填されているので、ガス置換の際ドライアイスを生じて、配管は凍寒して放出続行が不可能となるおそれがあり、また置換を迅速に行うため本機では温水型気化器を使用した。この結果は工場試験および現地における実際使用に際して、きわめて短時間で簡単にガス置換を行うことができた。

水素ガスはボンベから適当な圧力に減圧して機内へ補



第13図 水素ガスボンベセット

Fig.13. Hydrogen Manifold

給する。この供給ガス圧はボンベ圧が低下してもまた補給量が変化しても略一定に保たれるように二段減圧式を用い、ボンベを出た水素ガスは減圧弁を通つて一旦減圧され、さらに自動圧力調整器によつて機内圧を規定値に保つごとく、常時供給できるようにしてある。第13図は水素ガスボンベセットならびに減圧弁、自動圧力調整器の取付の状況を示す。

発電機内に水素ガスを充填した当初には幾分の湿気が存在しており、また密封油中の水蒸気が放出されて機内の湿度が上昇する傾向にあるためガス乾燥器を用い、機内の風圧を利用して機内ガスを循環させて除湿するようにしてある。

(4) 計測および警報装置

水素純度計には風圧式と光学式とを使用した。風圧式は風圧とガス密度との比例関係を利用したもので、光学式は空気と水素との光の屈折率の相違を利用したものである。風圧式純度計は盤に取付けられ連続指示できるが光学式純度計は必要箇所よりガスを採取して測定する。炭酸ガス純度も上記と同じ原理による純度計で測定している。運転中は機内の水素ガスの状態を制御盤に取付けられた純度計、圧力計、温度計などによつて監視するようにしてある。制御盤は第12図に示したように、配電盤室用、中央制御室用、現場用の三面からなりそれぞれに必要な計器が取付けられている。現場用制御盤は水素関係機器の傍におかれ機器を操作の際に監視に便利な位置に置き、また中央制御室用制御盤には流量計をつけて、掃気ガスの流量を測定し、機内ガス純度と掃気ガス純度を略一定の関係に保つように掃気管に取り付けられた絞り弁で掃気量を調節できるようにしてある。前述のように掃気は機内ガス純度の最も低いところからとられているが、掃気ガス純度を 80~85% に保てば機内ガスを 95% 程度の高純度に保つことが可能である。

以上の計測装置のほかに、水素ガス純度低下、ガス圧力異常上昇および異常低下、水素ポンプ圧力低下などの各種警報装置が具備されていて、集合表示器に警報を表示し系統の信頼度はきわめて高い。

〔V〕工場試験

本器は工場にて仮組立の上各種特性試験を行つた。軸密封油系統および水素ガス系統機器も発電機と組合せて

配置配管し、実際にガス置換を行い発電機を水素ガス中で連続運転して、各種系統機器の試験を行い良好な成績をえた。

特性試験の結果は温度上昇および能率ともに保証値に対して十分満足すべきものであつた。回転子の過速度試験は工場内の高速試験用ピット中で 115% 過速度すなわち 3,450 rpm で行われ、各部分とも機械的に十分の強度を有することが確認された。また試運転中の各部の振動も僅少であつた。

また絶縁強度は特別の試験設備により絶縁の誘電体損失角の測定、衝撃電圧および商用周波電圧における絶縁破壊試験などを行つたがいずれも満足な結果がえられた。

〔VI〕結 言

以上日立製作所において製作された、50 機で日本の最大容量である東京電力株式会社鶴見第二発電所および新東京発電所用の 81,000 kVA タービン発電機の仕様および構造の概要を述べた。そのおもな点は、固定子の輸送に新しい方式を用い、今後ますます大容量化せられる発電機に対処し、貴重な実績をえたこと、ブラケットで回転子を支持したこと、水素冷却方式に連続掃気式を用い、水素冷却機の補機関係を簡易化せしめ、保守を便ならしめたこと、などであつて、これらの結果は工場試験は勿論、現地においても優秀な特性を示し、振動もほとんどない非常に静かな機械を製作しえた。これは細部にわたる慎重な検討と研究の成果であつて、単に容量の点においてのみならず、種々の面から注目されるもので、今後さらに大容量化される火力発電に対して、明るい希望を与えたことは誠に喜ばしいことである。

終りに本機の製作に当つて御指導御鞭撻を賜つた、東京電力株式会社の寺田部長、江口次長はじめ関係者各位に深甚の謝意を表する次第である。

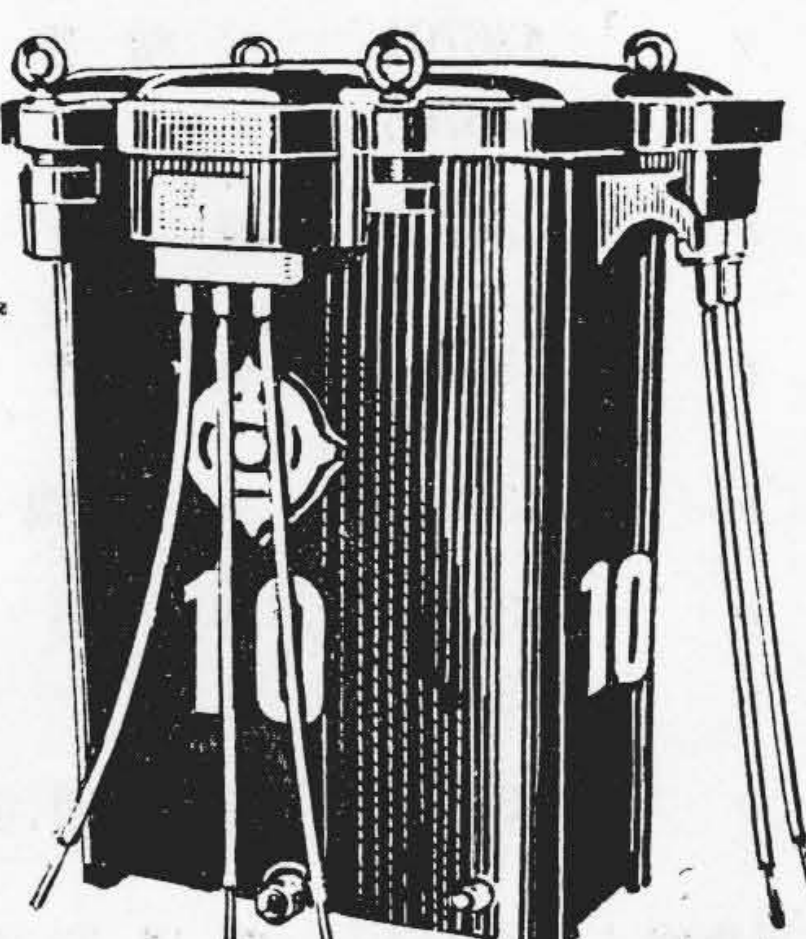
大量生産による
均等な品質!



日立トランス

日立製作所

最寄の日立商品特約店又は販売店に御用命下さい。





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1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	436653	油圧式タービン主機ターニング装置	日立工場	高横 須田 徳二郎	30.11.28
"	436654	複数電動機速度調整装置	日立工場	西 一 一郎	"
"	436656	カプラン水車のランナーボス内潤滑油加压装置	日立工場	高横 月井 正信 行安	"
"	436657	ペルトン水車洪水時自動運転装置	日立工場	深伊 栖藤 俊晃 一二夫	"
"	436659	水車運転保安装置	日立工場	鯨 沢 秀 夫	"
"	436660	カプラン水車プロテクトライナー取付装置	日立工場	志 村 敬 二	"
"	436676	小型電気車連結器	日立工場	坂 本 繁 三	"
"	436679	装甲型配電盤	日立工場	丹中 川 秀太郎 幸太郎	"
"	436681	整流器陽極導出支持部	日立工場	守 田 啓 一	"
"	436686	高圧蓄電器	日立工場	近佐 藤竹 喜久雄 喜代松	"
"	436687	変圧器タップ切換器における固定接触子取付装置	日立工場	滑 川 清	"
"	436688	電気接触子金具取付装置	日立工場	斎 藤 亮 二 治	"
"	436689	変圧器コンサベータ	日立工場	斎松 藤村 亮 二 男	"
"	436690	変 圧 器	日立工場	松栗 村原 亀 男 進	"
"	436692	並設開閉器の操作装置	日立工場	横本 山間 二 郎 千代一	"
"	436693	回転変流機直流側分割刷子	日立工場	桑 原 繁 太 郎	"
"	436694	変圧器用油保存器	日立工場	大 升 正 巳	"
"	436695	変圧器用呼吸装置	日立工場	渡 辺 政 巳	"
"	436696	カム型開閉器	日立工場	横角 山田 二 勝 郎 美	"
"	436697	熔断表示付筒形可熔器	日立工場	中小 野林 義 邦 映平	"
"	436698	電磁開閉器用電磁石	日立工場	檜宮 垣沢 登 淨	"
"	436702	油入電磁接触器	日立工場	檜須 垣田 長 登 治	"
"	436703	接触整流機の運転監視装置	日立工場	橋 本 英 明	"
"	436704	接触整流機の動作監視装置	日立工場	宮 崎 徳 太 郎	"
"	436705	気中遮断器	日立工場	滑 川 清	"
"	436706	縦軸水車発電機	日立工場	藤久 保藤 三 四 郎 夫 一	"
"	436707	縦型水車発電機	日立工場	藤久 保藤 三 四 郎 夫 一	"
"	436709	全閉型電動機	日立工場	小野崎 森 一 男 馥	"
"	436710	均圧線接続装置	日立工場	菅 野 政 雄	"
"	436711	補極鉄心	日立工場	坪 秀 雄	"
"	436712	超同期電動機固定子移動装置	日立工場	滑 川 原 清 忍	"
実用新案	436713	超同期電動機固定子移動装置	日立工場	大 橋 義 雄 馥	30.11.28