

## 東京電力株式会社品川発電所納 160,000 kVA タービン発電機

160,000 kVA Turbine Generator Supplied to Shinagawa Thermal  
Power Plant, Tokyo Electric Power Co., Inc.

是 井 良 朗\*  
Yoshiaki Korei

### 内 容 梗 概

日立製作所ではすでに多数の水素冷却タービン発電機を完成しているが、本稿に述べる 160,000 kVA 発電機は 3,000 rpm 機としては国産最大容量のものである。

本機の外観および構造は一見過去の製品と類似しているが各所に新しい設計が採用されている最新鋭機である。

日立製作所ではさらに大容量の発電機を製作中であって、本機を火力発電機発展の一段階を示すものとしてここに紹介した。

### 1. 緒 言

東京電力株式会社品川発電所納 160,000 kVA タービン発電機が日立製作所において完成された。わが国の火力発電は主としてアメリカの影響を受けて最近著しい発展をとげ、発電機単機出力の記録は年々更新されて増大の一途をたどっている。本機は 3,000 rpm 機の国産機としては最大容量の記録品である。

日立製作所ではすでに多数の水素冷却大形発電機を完成した豊富な経験を有しており、本機は一見これらの発電機と類似しているが細部にわたっては種々の新しい設計が用いられている。本機の完成は今後の火力発電機の

発達に対してきわめて意義深いものがあり、ここに本機のおもな点を述べて参考に供する次第である。

### 2. 発電機仕様

発電機:

水素圧力 0.035 kg/cm<sup>2</sup> にて 128,000 kVA

水素圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> にて 147,000 kVA

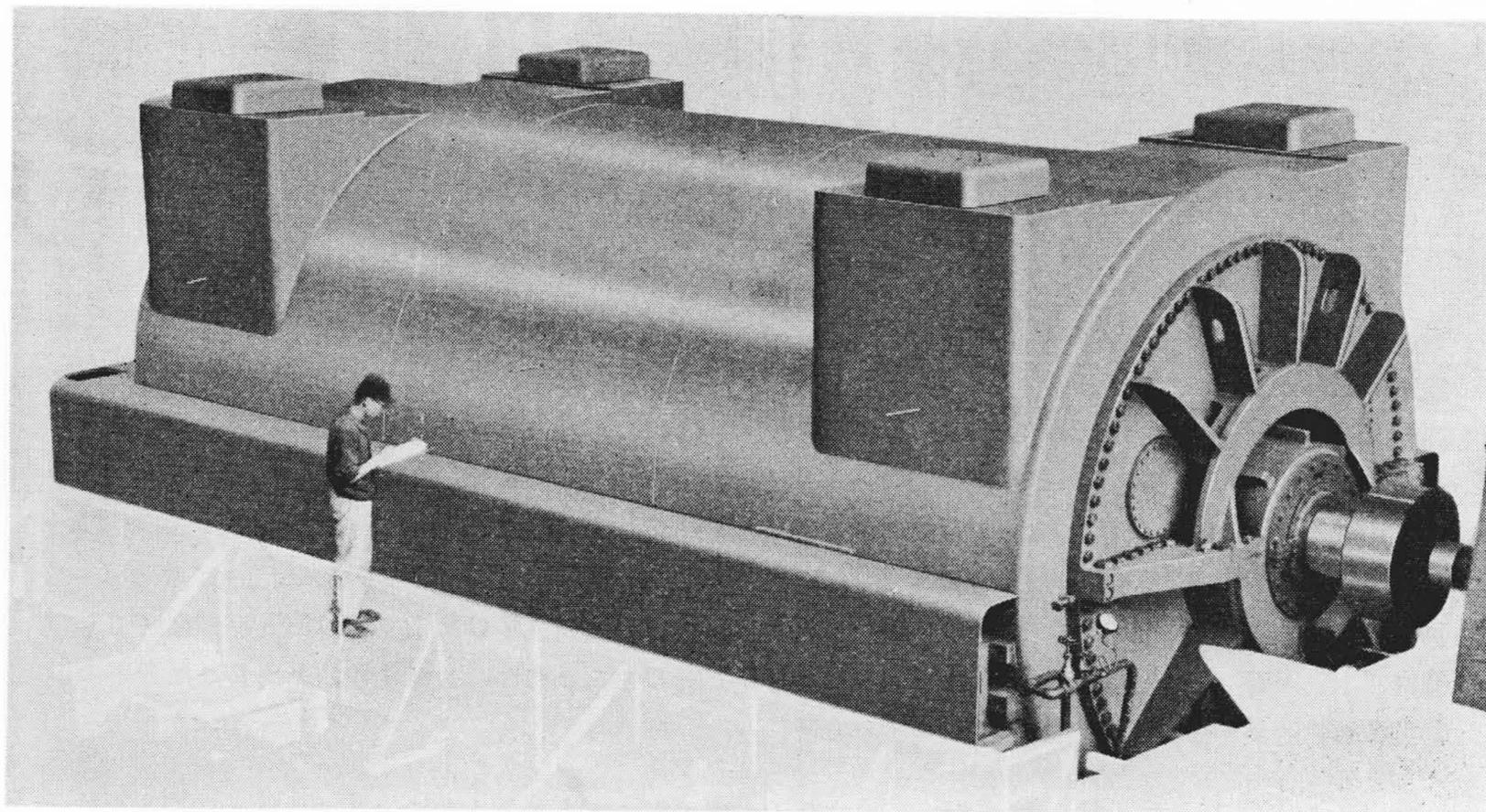
水素圧力 2 kg/cm<sup>2</sup> にて 160,000 kVA

力 率 0.85 (遅れ)

出 力:

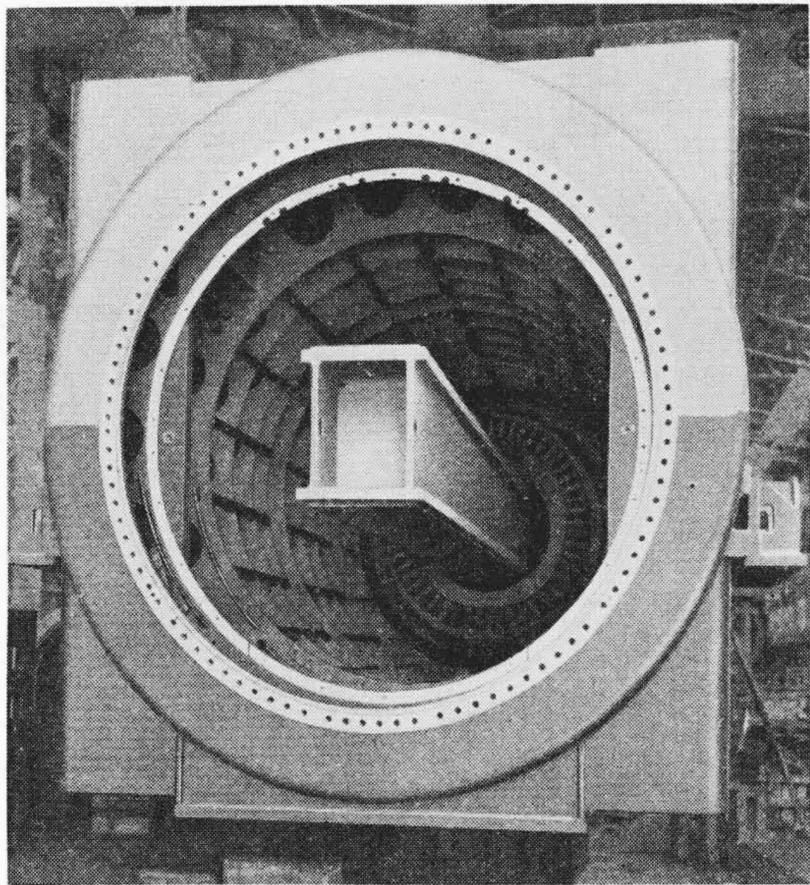
水素圧力 0.035 kg/cm<sup>2</sup> にて 108,800 kW

水素圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> にて 125,000 kW



第1図 160,000 kVA 水素冷却発電機

\* 日立製作所日立工場



第2図 固定子わく

水素圧力	2 kg/cm <sup>2</sup> にて	136,000 kW
電 圧	15,000 V	
回 転 数	3,000 rpm	
周 波 数	50~	
中 性 点	変圧器接地	
接 続	二重星形接続 6 本口出	
励磁電圧	375 V	
励 磁 機:		
出 力	500 kW	
電 圧	375 V	
回 転 数	1,000 rpm	
駆動方式	誘導電動機により駆動	
誘導電動機:		
出 力	550 kW	
電 圧	4,400 V	
回 転 数	1,000 rpm	

### 3. 発電機の構造

#### 3.1 固定子わくおよび鉄心部

第1図は工場試験中の本機の外観である。構造的には日立製作所で多数製作した 75,000 kW 3,000 rpm タービン発電機に類似しており、水素冷却発電機の基本的形式のものである。がん強な鋼板の熔接構造からなる固定子わくの両端部に四本の水素冷却器が装置されている。固定子わくの両端の端板はブラケットとなっており軸受および軸密封装置を備えており、ブラケット自身がまた気密外わくの一部を形成している。

本機が計画された当時は日立工場より品川発電所までは鉄道輸送に頼らざるを得ない状況にあった。鉄道輸送

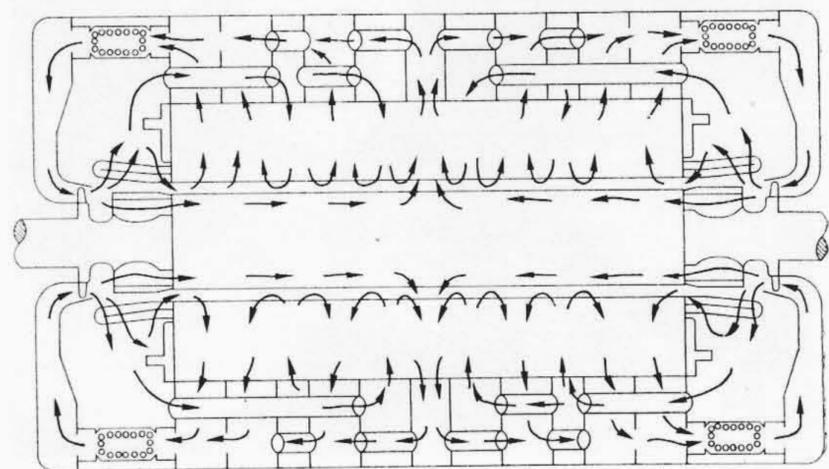
によるときは本機のような大容量機では寸法的にも重量的にも輸送制限を超過するので、特殊構造の固定子として分割輸送せざるを得なかった。本機では鉄心部と固定子わくとを別に製作し、現地で組合わせて一体のものとする方法をとった。外わくはさらに3分割されそれぞれ単独に送られて現地で組立てられ、継ぎ目の部分は気密熔接される。

日立工場に隣接した久慈川河口部に日立港が建設された。欧米と異なりわが国の火力発電所は海岸に建設されるのがほとんどであるから、この商港の完成によって海上輸送が可能となって固定子寸法に対する制約は取除かれ、本機をこえる大容量機でも固定子は一体構造に作られることになった。

鉄心部は外わくとは別個の小さなわくを用い、これに2極機特有の鉄心の2倍周波数の振動を外部に伝えぬように鉄心をたわみ支持して積んでいる。

固定子鉄心は良質のけい素鋼板を連続式熱風乾燥炉でワニス焼付したものを使用した。本機が計画された当時は方向性けい素鋼板の入手が現今に比べやや困難であったこと、および鉄心部を分割せざるを得なかったので鉄心部に対する輸送限度内で方向性鋼板に対して鉄心ヨーク部の幅を大きく取りうる非方向性鋼板を採用しているが、方向性けい素鋼板使用品に劣らない性能を出しうるよう十分の考慮が払われている。

方向性けい素鋼板を使用すると発電機損失に相当大きな割合を占める鉄損失が減少する。日立製作所でまったく同一寸法の鉄心を非方向性を用いたときと方向性を用いたときについて実際のタービン発電機について試験したが、鉄損失は約 60~70% に減少し、鉄心部に要する磁化力もまた激減することが確認されている。これは方向性けい素鋼板の採用によって鉄心寸法および重量、したがって固定子寸法と重量が大幅に軽減されることを意味している。容量の増大とともに設計製作の技術上の問題および海上輸送に対する積込みの問題から固定子寸法重量の軽減は大きな意味をもっている。目下日立工場にて製作中のわが国最大の 224,000 kVA 3,000 rpm 発電機



第3図 通風説明図

は方向性けい素鋼板を採用した一体構造の固定子で前述の日立港より海上輸送されるものである。

固定子鉄心や線輪を有効に冷却するために複式通風方式が採用されている。第3図に本機の通風系統を示す。

鉄心背部の固定子わくとの間の空間が仕切板によって軸方向に区割されて、それぞれが鉄心ダクトに対して入気室および排気室を形成していることは、75,000 kW級の発電機と原理的には異ならない。しかし機械が大きくなっているためさらに多くの仕切板で区割して入気室と排気室が数多くとられており、また水素冷却器を出た冷たい水素ガスが線輪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各部の温度を均一に保つことができる。

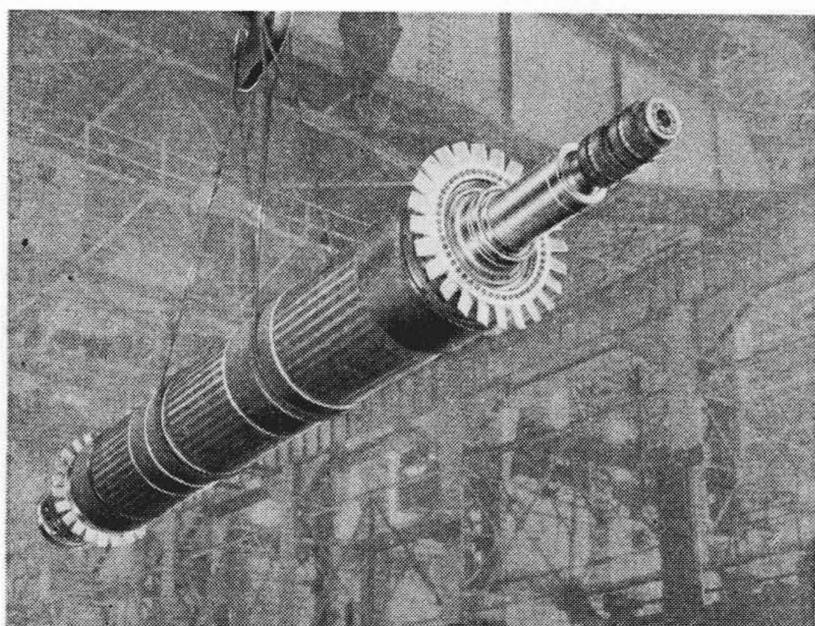
### 3.2 固定子線輪

固定子線輪は1ターンコイルを採用している。本機は使用端子電圧と線輪溝数の関係で比較的幅の広い溝を採用しているが、通常の線輪よりも素線の分割を多くし、また各素線を溝内で完全に転位して過電流や、表皮作用による損失の増加を防止している。

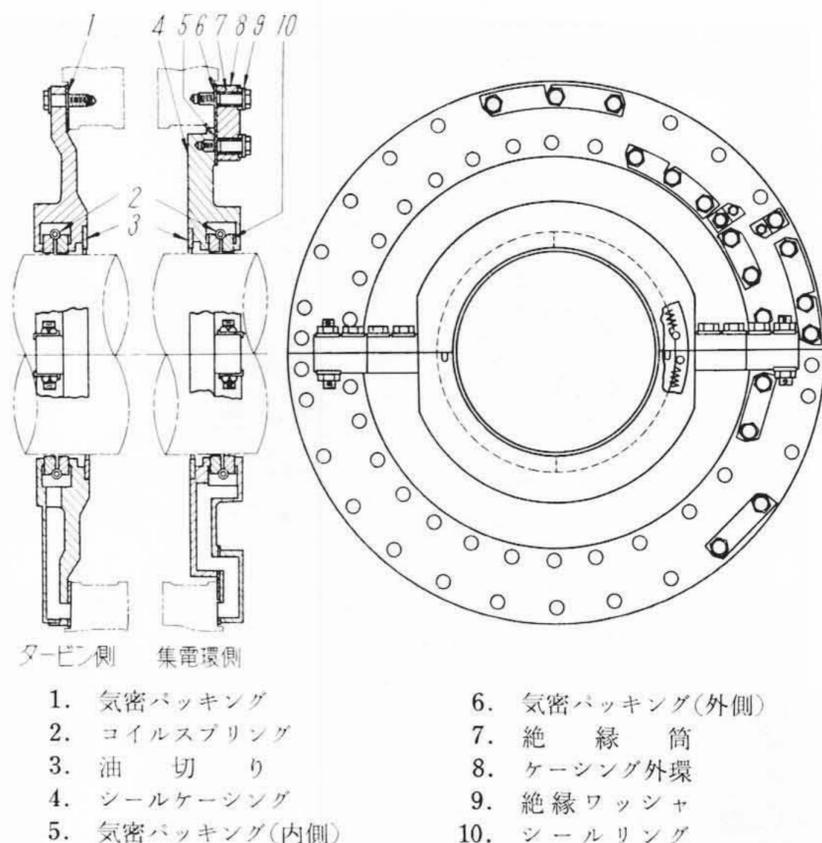
線輪の絶縁には日立製作所で開発された SLS ワニスを使用している。固定子線輪の絶縁物はマイカが主要材料であることは変りないが SLS ワニス重合反応によって固化するもので、絶縁層に空隙を残さず、機械的、電氣的性質のすぐれた線輪を作ることができる。このワニスを使用した線輪では負荷の増減に伴う素線の伸縮に絶縁層が追従するので、絶縁層がはく離したりきれつを生じたりすることがなく、大容量タービン発電機に使用してきわめて理想的なものである。

### 3.3 回転子

回転子軸材には Ni-Mo-V 鋼の単一鋼塊を用いた、機械的性質、磁氣的特性ともすぐれたものが日本製鋼所で完成された当時はわが国の記録的な鍛造品であっ



第4図 回転子



第5図 軸密封部

た。超音波探傷試験、コアドリルによる材料試験、各部の組織など詳細かつ厳密な試験に合格したものである。現在では本機を上回る 224,000 kVA 発電機の軸材も国産品で入手可能で、これはタービン発電機大形化の傾向に対して明るい希望を与えるものである。

回転子はこの単一鋼塊からけずり出したもので、線輪溝の底の通風溝および歯間の通風溝を加工して、両者を横孔で連結して、回転子両端より吹込まれた冷却水素がこれらの溝を通過して界磁銅損を有効に冷却するようになっている。

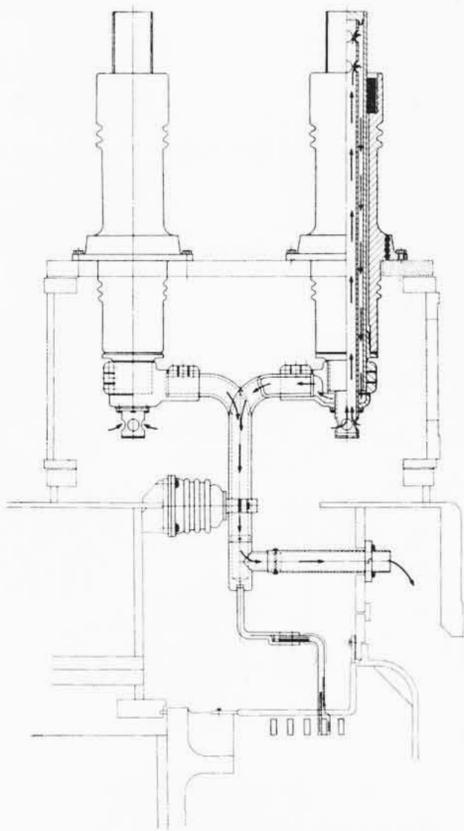
界磁線輪には、少量の銀を添加した硬銅線を使用し、ほふく限度の高いものとしている。界磁線輪絶縁物は機械的耐圧力の大きい、固く圧縮したマイカを主体とするもので運転中絶縁物に加わる以上の温度圧力で焼付けた信頼度の高いものである。

大容量機では振動に対して考慮を払わねばならぬが、回転子の磁極に相当する部分とこれに直角方向の線輪溝をもつ部分とでは、明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、磁極の部分にも円周方向に溝を切り、いずれの軸に対してもたわみが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、とりうるよう磁極の部分にバランス孔を設けてある。

回転子の構造としては全般的に決して新しいわけではないが、細部にわたり非常に慎重な考慮を払って製作されている。

### 3.4 その他

固定子わくの両端部の軸密封装置を有することは前に述べたが、第5図に軸密封部の構造を示す。軸ジャーナ



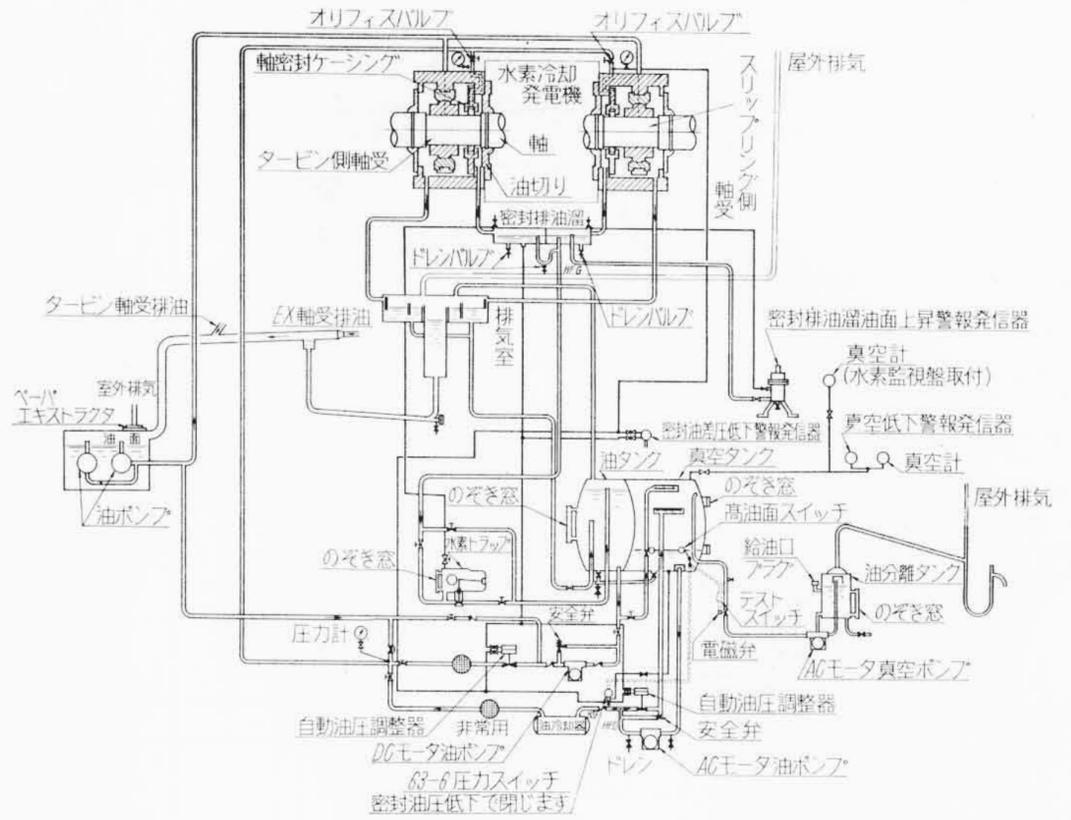
第6図 直接冷却式がい管

ル部にシールリングを設けてある。リングは特殊合金製のセグメントを組合わせたものでそれがさらに軸方向に二つに分離されたものがシールケーシング内に収められ、上下二つのコイルスプリングによって締めつけられている。これらのリングはジャーナル軸径に対してわずかの間隙で組立てられており、細隙部に油膜が形成されて密封の機能をもたせている。リングは半径方向には自由に膨張できるが、軸とともに回転できないようシールケーシングからの突起によって保持されている。

軸電流防止絶縁は集電環側の軸受外環部および軸密封装置の取付部で行った。第5図に軸密封装置取付部の絶縁方式を示す。シールケーシングは一たんケーシング外環を通じて固定子わくに取付けられているが、この取付部に絶縁をかねた気密パッキングを二重に入れて絶縁ボルトで締付けてある。二重に絶縁されているので防止絶縁そのものの信頼度が高いことはもちろんであるが、運転中にも軸電流防止絶縁の点検を容易に行うことができ便利である。軸受の部分に対しても同様な考えで二重防止絶縁方式が採用されている。

本機では最大定格における電機子電流は相当大きくなりがい子内導体の温度上昇が問題となるが、直接冷却式がい管を使用して解決されている。がい子内の導体自身が中空で機内の差圧を利用してこの中に冷却ガスを直接通じて冷却するものできわめて効果的である。将来直接冷却方式の採用によって電機子電流はますます増大の傾向にある。内部冷却式がい子の採用によってがい子電流容量の問題は解決される。

各がい子にがい子形CTがそれぞれ3個ずつ取付けられている。また、たわみ接続によって密閉母線に接続さ



第7図 密封油系統図

れているので主電気回路はユニット方式の特長を生かした安全性のたかいまとまりよい形になっている。発電機中性点はユニット方式に好適な柱上変圧器接地方式が採用されている。

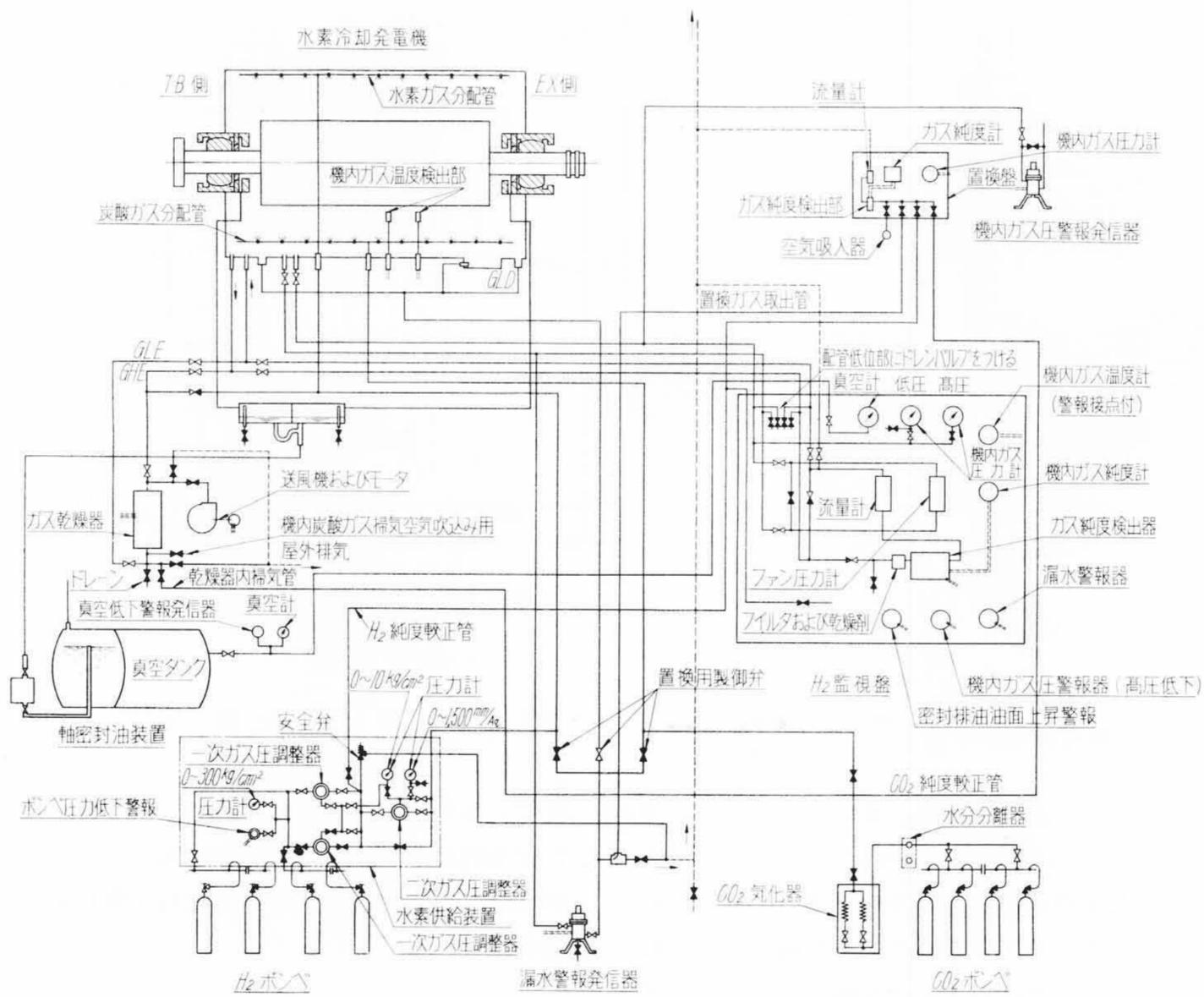
#### 4. 水素冷却方式

本機の水素冷却は真空処理式を採用している。第7図に密封油系統、第8図に水素ガス系統を示す。

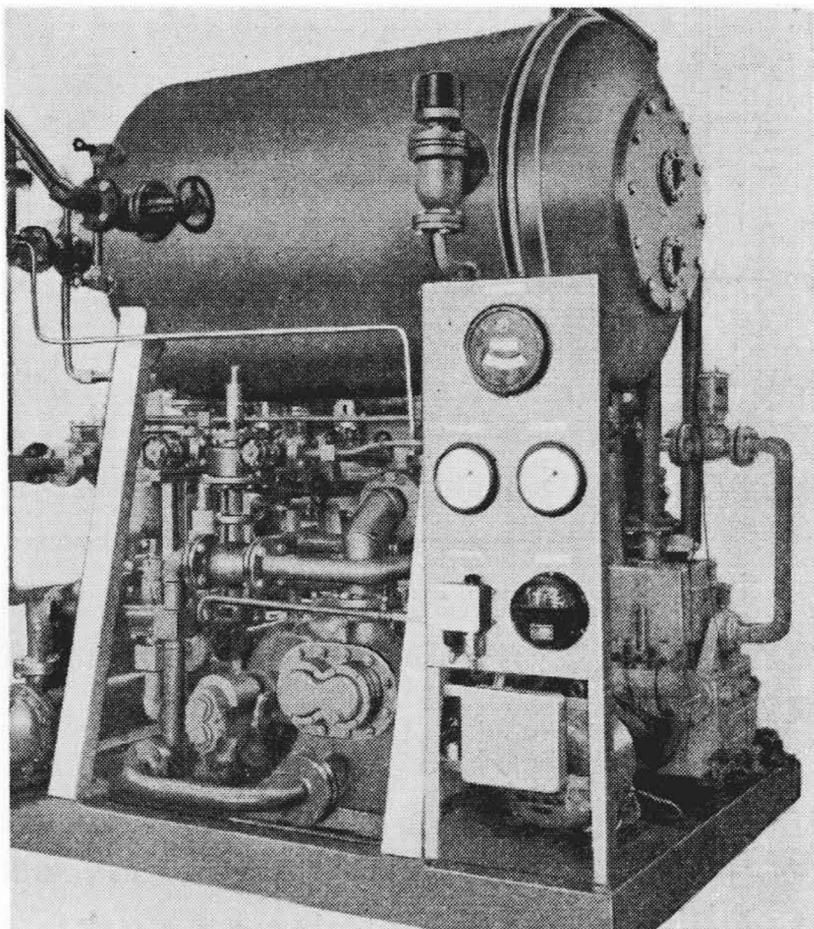
##### 4.1 密封油系統

真空処理式では第7図に示すように真空処理された油が主密封油ポンプによって常時軸密封部に供給されている。したがって、軸密封部の水素側に流出する油から、空気や水蒸気などの不純ガスが放出されることはほとんどないので、連続掃気式のと看のように軸密封部付近で水素純度が最も低下するようなことはあり得ない。固定子わく配管などからのやむを得ざる少量の水素漏洩および水素側密封排油に溶解してもちさられる水素の損失に対して、自動的に新鮮な水素を供給する方式をとっている。機内純度はきわめて高い。正規の運転を続けると真空処理によって機内純度が順次高められ98~99%の高純度を保持しうる。

真空処理式は連続掃気式に比べて真空処理に要するだけ装置の数が多くなり費用も多少かさみはするが、油装置全体は第9図のように、一つの台上に合理的に体裁よく配置されてすえ付面積もそれほど大きくはならない。本機のような大容量機では、装置の費用の点も問題にならず架台下のすえ付面積も十分広くとりうる。真空処理を使用して容易に機内純度を高く保持する方式がとられている。



第8図 ガ ス シ ス テ ム 図



第9図 密 封 油 装 置

本機の密封油装置は積極的に機器の数を減少させ安全運転に必要な機器のみでシステムを構成せしめ、装置の簡単

化、保守運転の容易化を計っているのので、余分な予備機は除去されている。

第7図において、常時は主密封油ポンプによって真空タンク内の真空処理された油が密封部に供給されている。自動油圧調整器があって、これにより機内圧に対して所定の圧力を保ちながら密封油給油を行い、余分の油は真空タンクに再循環してノズルより吹出しふたたび真空処理を受ける。シールリングの水素側に出た密封排油は密封排油溜に集り、水素トラフブを経て真空タンクにもどされる。空気側に出た密封排油は軸受排油と一緒に一度排気室に集まるが、ここから分路されて真空タンクのほうにもどされて水素側排油とともに真空処理をうける。

主密封油ポンプ故障による吐出圧低下、機内圧と供給密封油圧の差圧が低下した場合などは、圧力スイッチの動作によって、非常用密封油ポンプ(DC)が自動起動して必要な密封油圧を保つが、この場合は無処理の油が別の自動油圧調整器を通じて供給される。

さらに第2段の非常運転として直流電源の喪失などによって、上の第1段の非常運転が行い得ないときは、軸受給油をそのまま自動油圧調整器を通じて軸密部に供給できるよう考慮されている。この場合は高い機内圧に対

しては所定の密封差圧を与え得ないので、機内圧を 0.7 kg/cm<sup>2</sup> 程度以下に下げなければならなくなる。

そのほか油系統の運転に必要な警報、計器類が完備されているので系統の信頼度ははなはだ高い。

#### 4.2 水素ガス系統

水素ガス系統はガス置換と、機内ガス圧および純度を規定値の範囲に保つことが問題であることは、連続掃気式の場合と変わりなく、水素系統としては本質的な相違はあり得ない。

水素ガス置換は炭酸ガスを使用する間接法を採用し、また置換をじん速容易に行うように温水形気化器を使用している。

水素ガスはポンペから適当な圧力に減圧して機内に補給される。水素ガス減圧弁は一次減圧弁と二次減圧弁とよりなる二段減圧式を使用している。水素ガス置換の場合のように多量のガスを急速に供給する必要があるときには一次減圧弁のみを通じてガスを放出するが、通常運転のように自働圧力調整を行うときはさらに二次減圧弁を使用して機内の圧力を常に一定に保つようになっている。二次減圧弁の出口圧力を所望の値に整定しておくことと機内圧がこれより下り始めると自動的に弁が開いて所定の値に達するまで水素ガスを補給する。2 段式になっているのでポンペ圧の変動を受けることなく定圧、定流量の水素ガスを補給できる。

発電機内に水素を充てんした当初はいくぶんの湿気が機内に存在していたり、また、密封油系統の非常運転を行って未処理の密封油が供給されたりした場合には油中の水蒸気が機内に放出されて湿気が上昇する傾向にあるので、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いる。正規の運転では真空処理によって機内の湿度は運転の継続とともに減少することになる。

#### 4.3 計測および警報装置

置換中の機内ガス圧、放出ガスの純度を簡単に計測できるように、必要計器を取まとめた置換制御盤がある。これはきわめて軽便な壁掛形の盤である。

運転中の機内ガス圧、温度および純度を監視できるように必要計器を取まとめた水素監視盤がある(第8図参照)。純度計は熱線式を使用している。機内ガスを機内風圧を利用して純度計発信器に導き入れ、ガス純度の変化によって熱線の冷却効果が変わるのをブリッジ回路によって純度指示に取出したもので、すでに数多く使用している自家製の優秀計器である。このほかに回転子ファンの差圧を示すファン差圧計が監視盤に取り付けられている。これはファンの高、低圧側間の静圧の差を読むもので、この差圧はガス密度したがってガス純度に比例するものであるから、差圧計をあらかじめ校正しておけば、

ほかのすべての純度計が、万一使用できなくなったとき純度の目安を知ることができる。

以上の計測装置のほかに、水素ガス純度低下、機内ガス圧異常上昇および異常低下、水素ポンペ圧力低下、等々の必要各種警報類が具備されていることは、連続掃気式の場合と変わりなく、これらが集合表示器に表示され、系統の信頼度はきわめて高い。

### 5. 励磁機その他

本機のような大容量発電機になると励磁機容量も必然的に大きくなり、直結励磁機では整流および整流子の機械的問題から制約をうけるので、電動機駆動式かあるいは減速歯車駆動式かによらざるを得ない、本機では電動機駆動式を採用している。

系統に故障が起って電源電圧が低下した場合、また電動機電源側の故障によってほかの電源に切りかえる短時間ではあるが無電圧の場合などでも、直結励磁機と同等の性能を示すことが要求されるが、最大トルクの大きい誘動電動機を使用し、またセット全体の蓄勢輪効果を大にすることによって十分この要求に込えている。

自動電圧調整は HTD 形回転増幅機を主体とする方式で、回転増幅機を励磁機の分巻励磁巻線に直列にそう入している。

### 6. 工場試験

本機は工場において、試験用架台上に完全に組立て、密封油系統および水素ガス系統機器も発電機と組合わせて配置配管して、水素ガス中で発電機を運転し、本体特性試験および系統機器の試験を行い、所期の成果を収めた。

温度上昇試験は等価負荷法によって施行されたが、いずれの水素圧力の場合でも各部の温度上昇値は保証値に対して十分な余裕を示した。各損失も分離されて測定されたが発電機効率も全負荷より部分負荷に至るまで保証値に対して十分の余裕をもって合格した。

回転子の過速度試験は工場内の高速試験用ピット内で 115% 過速度すなわち 3,450 rpm にて施行し、各部とも十分の機械的強度を有し、回転子のバランスも問題ないことを確認した。

固定子線輪の絶縁試験の結果もきわめて満足すべきものであった。

### 7. 結 言

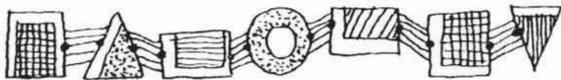
以上、東京電力株式会社品川発電所納 160,000kVA タービン発電機の仕様および構造の概要について述べた。本機の完成に当っては、過去に製作した多数の水素冷却発電機の実績が豊富に取入れられているが、細い点では

新しい設計が各所に採用されている記録的な製品である。日立製作所では目下224,000 kVA 3,000 rpm 発電機2台を製作中で、そのうちの1台は本機の完成後数箇月にて完成する予定で、本機によって樹立された記録も間もなく更新される状態で、わが国火力発電の発展の激しさがうかがえる。

発電機容量増大の傾向は今後ますます顕著となり、さ

らに大きな発電機の製作に当っては直接冷却方式の採用が不可避の問題となってくる。直接冷却方式の内容とその適用については近く稿を改めて述べたい。

終りに本機の完成に当って、ご指導ご鞭撻を賜った東京電力株式会社の関係者各位に深甚の謝意を表する次第である。



新案の紹介



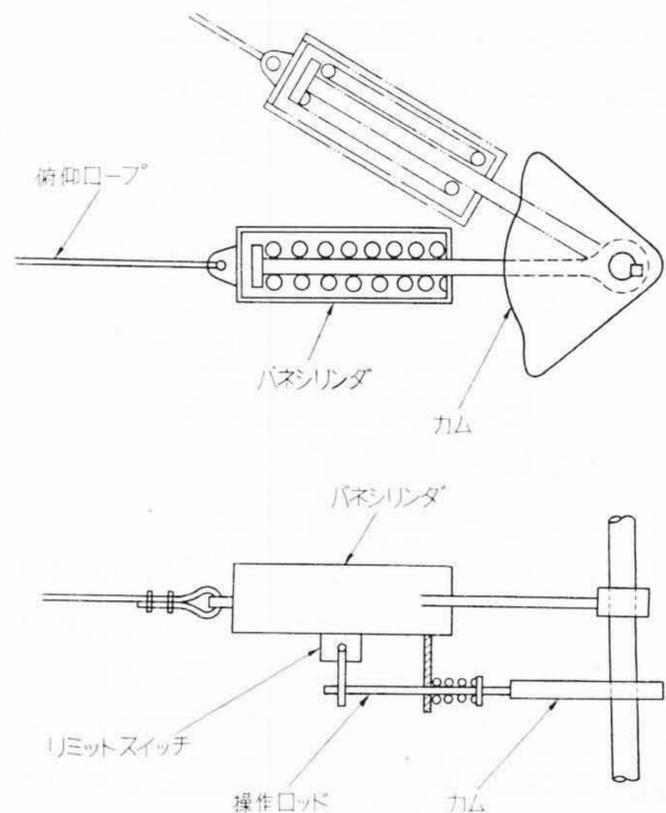
実用新案第477295号

松原為治

クレーンブームの俯仰角度に応ずる過荷重防止装置

モバイルクレーンやトラッククレーンでは転倒防止のためブームの俯仰角度に応じて吊上荷重を制限する必要がある。

この考案は、ブームの俯仰ロープをバネシリンダに連結し、荷重の大小をバネシリンダの移動量でリミットスイッチを作動させて検出するのであるが、リミットスイッチの操作ロッドは常にカム面に接触させておいて、ブームの俯仰角度に応じた制限荷重に達したときに、はじめてリミットスイッチが作動するようにカム面を規定するものである。しかもこのカムは数種類のものを備えており、たとえば定地荷役用、走行荷役用、アウトリガを用いた定地荷役や、またブーム長さを変えて荷役を行う場合などに対応させる。



訂正

本誌 Vol. 41 No. 10 に掲載された「 $\gamma$ 線による重液比重の測定」の論文に次のように誤りがありましたので訂正いたします。 編集部

訂正箇所	誤	正
45頁 右段(2)式	$\mu = \mu_s \frac{\rho - 1}{\rho_s - 1} + \mu_w \frac{\rho_s - \rho}{\rho_z - 1} \dots (2)$	$+ \mu_w \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s - 1}$
46頁 左段本文 8行目	..... $^{60}\text{Co}$ の場合 $0.248\text{cm}^{-1}$ , $^{137}\text{Cs}$ の場合 $0.334\text{cm}^{-1}$ .....	..... $^{60}\text{Co}$ の場合 $0.166\text{cm}^{-1}$ , $^{137}\text{Cs}$ の場合 $0.226\text{cm}^{-1}$ .....