

川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納
15,000kW 復水タービンおよび発電機設備
15,000 kW Condensing Turbine and Generator for Chiba
Iron and Steel Works, Kawasaki Steel Corporation

戸島日出雄* 是井良朗*
Hideo Toshima Yoshirô Korei

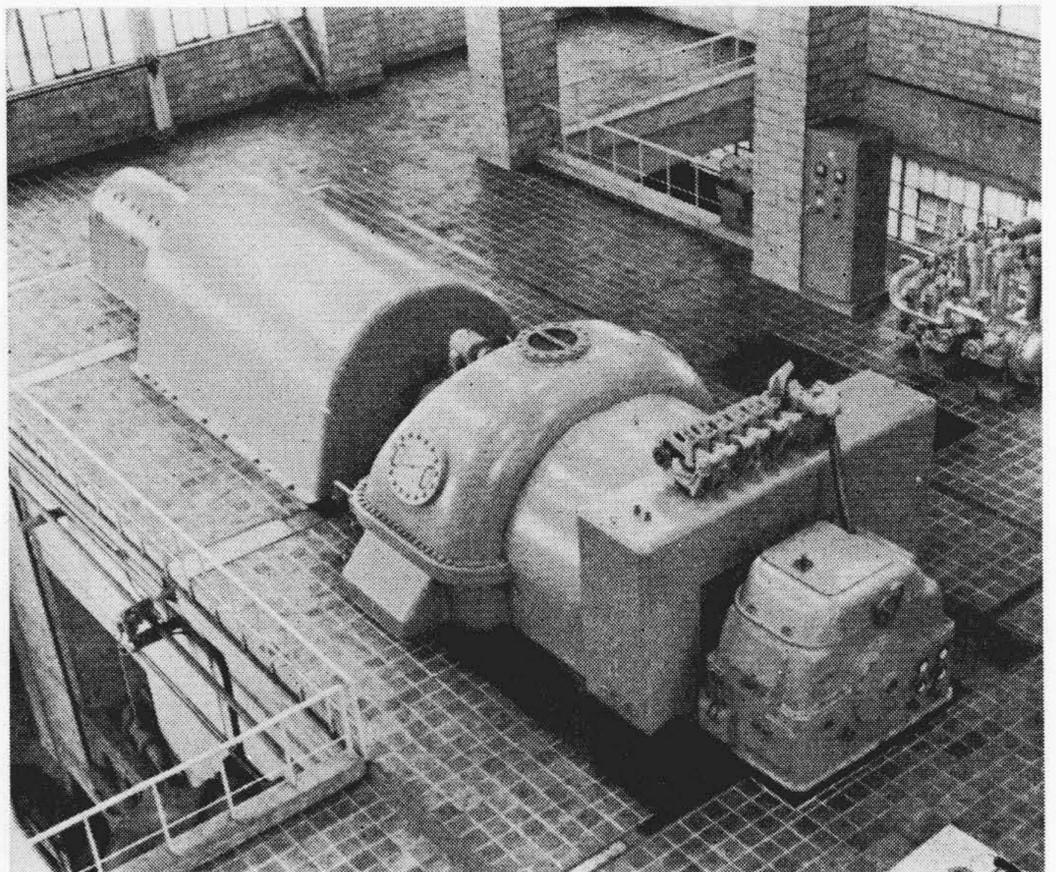
内 容 梗 概

川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納 15,000 kW 復水タービンおよび発電機が昨年きわめて好成績で工場試験を完了し、すでに好調に運転を開始している。このタービンおよび発電機（以下 T-G と記す）は、さきに日立製作所で製作した同製鉄所の 12,500 kW T-G の増設用として造られたもので、使用蒸気条件は既設ボイラ使用のため同一で、圧力 40 kg/cm²g、温度 430°C であるが、各所に斬新な設計と最近の製造技術を十分に取入れた製品である。また種々の調速ならびに保安装置は、単独あるいは総合試験を行ってその作動を確認し製品の信頼度をさらに高めることができた。

以下、本 T-G の構造の概要について紹介する。

1. 結 言

近年、産業の発展と設備の近代化に伴い電力の大口需要事業所では、自家発電設備を持つところが急激に増え、特に製鉄所など蒸気発生エネルギーの容易に得られる事業所では、低原価の電力が得られる利点と相まって相当大規模な発電設備を持つ所が多い。しかしながら、タービンに使用される各種耐熱材料の発達や制御機構の進歩によって信頼度が著しく高められたこと、運転および保守がきわめて容易になったということも自家発電設備の魅力を増した大きな因子であると考えられる。本文は以上の観点から最近優秀な成績をもって完成し、すでに好調な運転にはいてる川崎製鉄株式会社千葉製鉄所用 15,000 kW T-G の概要を紹介するものである。



第1図 産業用 15,000kW 復水タービン

2. タービンの仕様および構造

2.1 タービンの仕様

本タービンの仕様は次のとおりである。

形 式	日立衝動式単汽筒単流排汽形
最大連続出力	15,000 kW
経 済 出 力	13,000 kW
回 転 数	3,000 rpm
蒸 気 圧 力	40 kg/cm ² g
蒸 気 温 度	430 °C
復水器真空	722 mm Hg
膨 張 段 数	高圧 11 段, 低圧 6 段, 計 17 段
抽 気 段 数	3 段

* 日立製作所日立工場

2.2 タービンの構造

2.2.1 タービン車室

タービンの構造は第2図に示すように高低圧の2車室が垂直接手で直接結合された単汽筒形とし、高圧車室は蒸気室を一体構造として車室全体の構造を単純化し、鑄造作業および検査を容易かつ確実にするとともに蒸気が車室内を局部的に加熱することなく、熱応力の点からも負荷の急変や短時間起動に対して安全な構造とした。また高圧車室は前側軸受箱とボルト締まれ特殊なガイドにより車室の中心を常に保持しうるよう考慮されている。さらに車室の軸方向の熱膨張を自由にのびることができるよう前側軸受箱をI字形の可撓

性支持台で支持している。車室の水平接手面は完全なメタルコンタクトとし蒸気の漏洩を完全に防止している。高圧車室の材料は高温におけるクリープ強度を十分に考慮し、さらに黒鉛化防止の点から 0.5 Mo 鋳鋼を採用した。鋳造後は完全な熱処理を行い、放射線検査、磁粉検査などの非破壊検査を行って内外部の欠陥を細部にわたって調べ入念な溶接補修を行っている。

低圧車室は単流排気形の鋳鉄製とし、ダイヤフラムには水滴を分離する装置を設け、かつ車室の形状は排気損失を極力少なくできるように適切な曲面をもたせている。

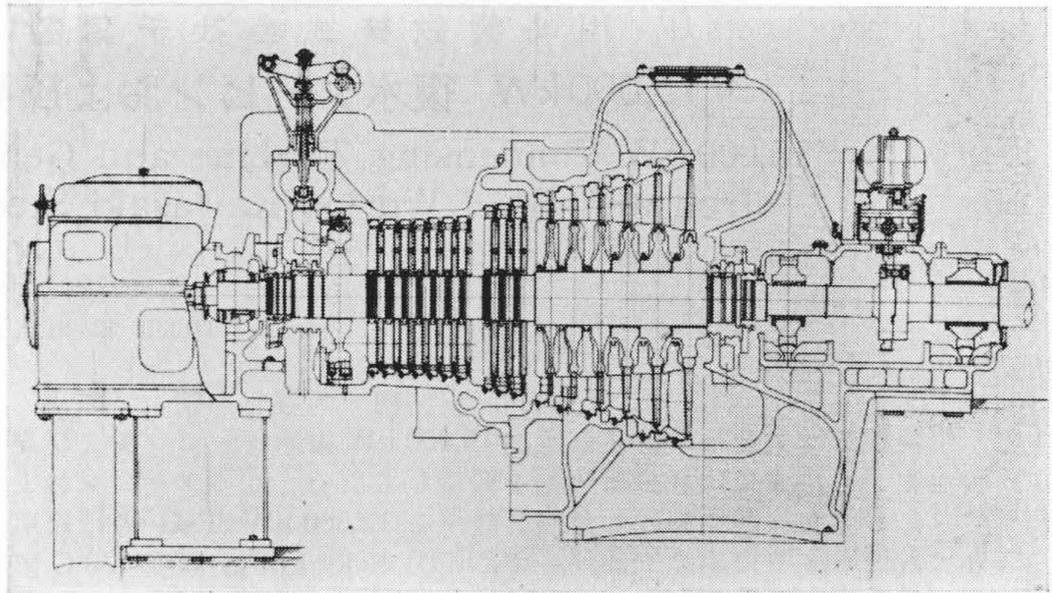
2.2.2 翼およびロータ

翼は流体力学的考慮と実物の流動試験を行って最も効率のよい形状を決定している。高温部および高応力部の翼の植込部は鞍形とし、特に応力の集中するコーナー部は Shot-peening を行って疲労限の増大を計り、かつ翼幅を広くし、強度的にも振動的にもきわめて安全な構造とした。翼材としては蒸気による浸蝕に十分耐えうる 13Cr 不銹鋼を使用しているが、材質および応力は運転蒸気温度における 10^5 時間のラプチャ強度を基準とし安全率を考慮して決定している。最終段落翼の背部には水滴による浸蝕を防止するためステライト板を貼付している。これら翼材は加工前に Super Sonic Test により内部欠陥を詳細に調べ、加工後は Magna Flux Test によって表面付近の欠陥を厳重に検査している。

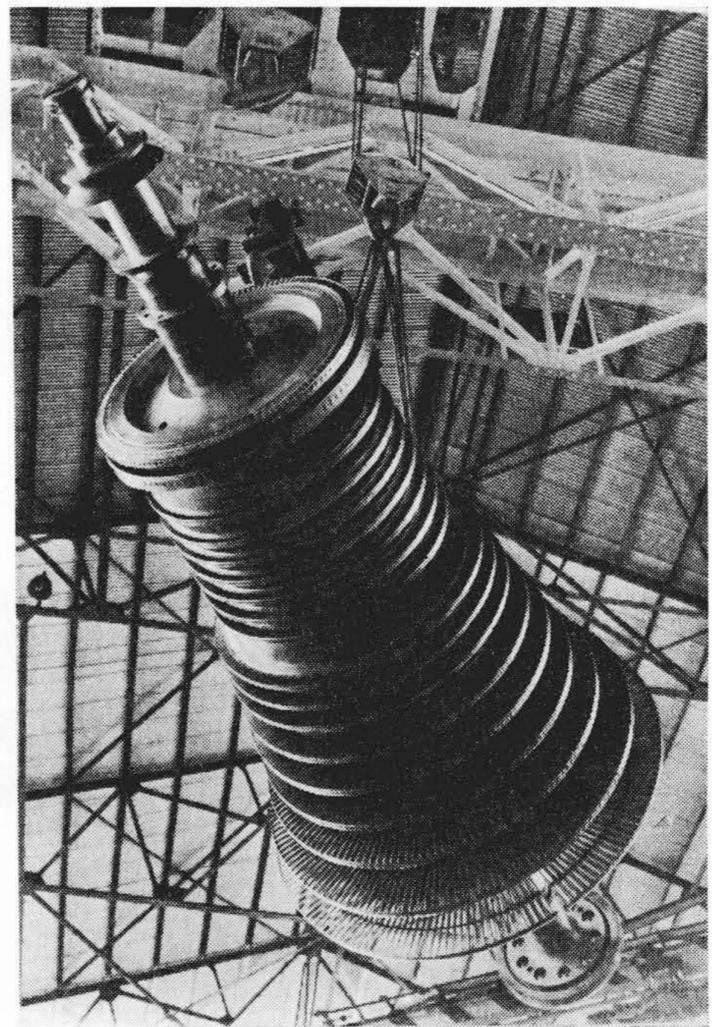
第3図はタービンロータの外観である。ロータはシャフト・デスクとも Ni-Cr-Mo 鋼を使用し、いずれも内外部の組織および機械的強度が均一になるように空冷により焼準焼戻を行った。各デスクは焼嵌前後に完全な動的釣合試験を行い、不平衡重量により運転中に生ずる振動を防止し、安全円滑な運転を期している。また高温蒸気中において軸の撓みによる振動を防ぐためシャフトは高温安定試験を行い、運転時におけるロータの曲りを防いでいる。

2.2.3 噴口および隔板

噴口はすべて効率の良い Negative nozzle とし高圧部は溶接式低圧部は鋳込式とした。噴口翼材は作用する蒸気温度に従ってそれぞれに適した高温強度を持たせるため初段には Cr-Mo 不銹鋼を、それ以下の高温部には Cr 不銹鋼を使用し入念に削り出している。高



第2図 タービン組立断面図



第3図 タービンロータ外観

圧部の噴口は正確な噴口面積をうるため、機械仕上げされた噴口を特殊な溶接方法により隔板に組立てている。

隔板は車室に支持する場合特に熱膨張によりその中心性を狂わすことなく、また熱応力により部分的に異常な応力およびひずみを与えないよう外周を特殊キーにより支持する構造とした。低圧段落の隔板には特殊の水滴分離装置を設け、ここで分離された水滴は直接復水器へ導かれる。

2.2.4 推力軸受

推力軸受は前側軸受箱内に置きタービンおよび発電機ロータ両方の推力を吸収する方式とし、大きな推力に対してもきわめて安定した油膜を得られるTapered land 形を採用した。またバビットメタルに常に均一な当りが得られるよう球面座形の軸受と一体とし、自由に自己調整しうる構造とした。

2.3 调速ならびに保安装置

本タービンに採用した制御機構は第4図の系統図に示すように最も作動確実であり、かつ実績を有するオイルリレー方式でレバーによって制御の伝達を行うもので、调速機はスピードリレー、サーボモータを介し回転数あるいは負荷に応じて加減弁の開度、すなわち主塞止弁よりの蒸気の流れを制御するものである。保安装置としては速度の過上昇、スラストの摩耗、油圧の異常低下、復水器真空度の異常低下などに際して警報を発し、あるいは自動的に主塞止弁を閉鎖させる装置が設けられている。以下これら装置の主要部に関し説明する。

2.3.1 调速装置

(1) 调速機および同期装置

调速機はスピードリレーを持つ回転パイロット弁形で、タービン速度の上昇に伴う遠心錘の開度により回転パイロット弁を下げてスピードリレーを自動的に制御し、加減弁開度をきわめて円滑に調整しうる構造となっている。

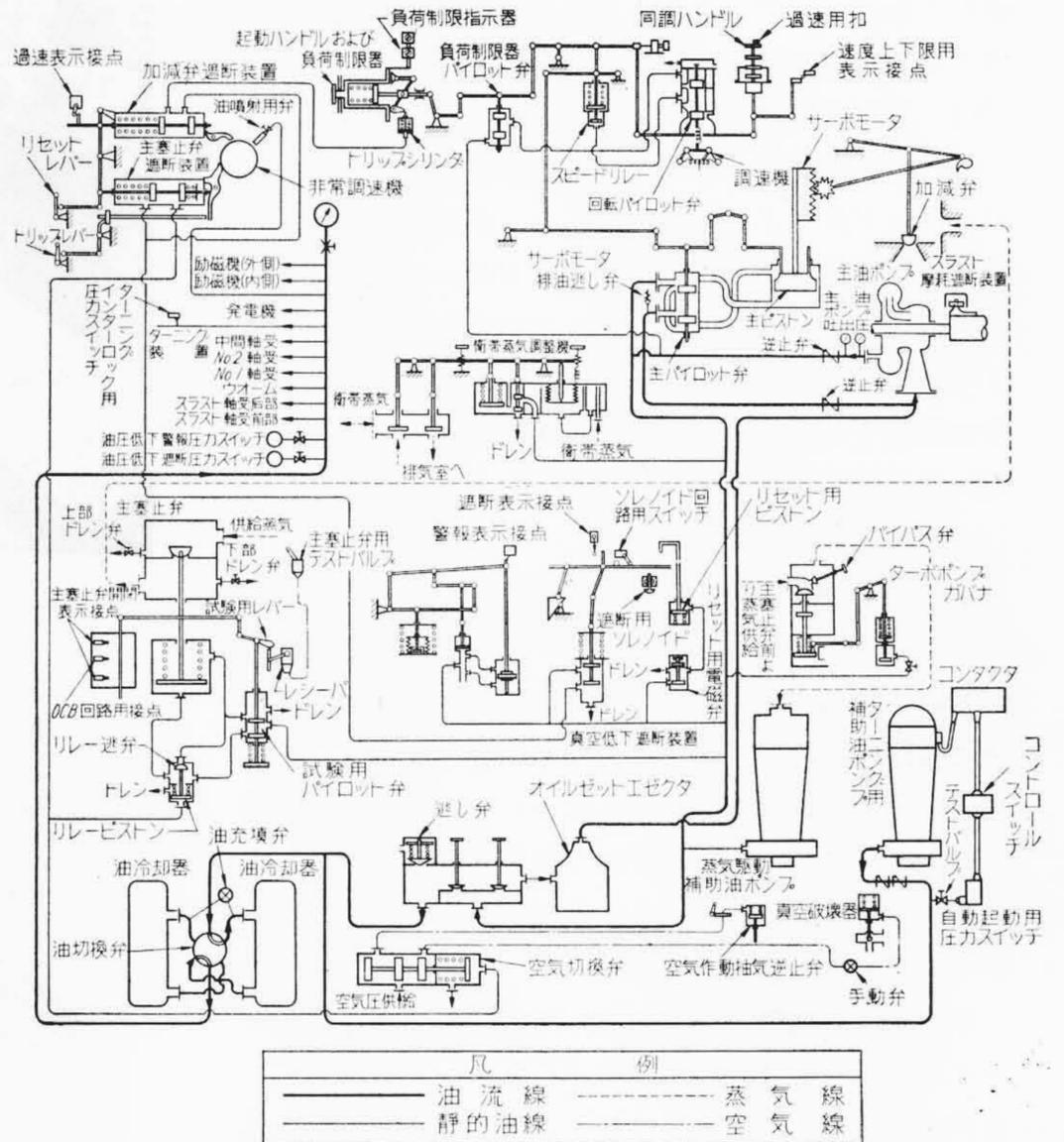
同期装置は调速機の回転パイロット弁に対するスリーブの設定を変え调速機の下で制御されているタービン速度を105~92%の間で調節するものである。この装置には過速度用ボタンがあり、タービン速度を110%まで上昇させて非常调速機および保安装置系統の試験をすることができる。

(2) 負荷制限器

負荷制限器はタービンが调速機の作動速度に達した後、パイロット弁の働きによりスピードリレーの開度を制限して負荷を制御するものである。またスピードリレーの開度がまったく負荷制限器の制御下にあるためタービンの起動時には起動装置として働き、さらに加減弁遮断装置が働いた場合負荷制限器ハンドルの位置とは無関係にパイロット弁がすみやかに油路遮断を行い加減弁を閉鎖しうる構造となっている。

(3) 加減弁

加減弁は6個の単弁座形弁よりなり、弁座はベンチ



第4図 调速・保安ならびに潤滑油装置系統図

ュリ形、弁は球形として圧力損失の軽減を計っている。弁と弁座との接触面はステライト肉盛を行い、腐蝕摩耗などに対し十分耐久性をもたせている。弁はカムおよびバネによって開閉する構造とし、カムはカム軸回転角と流入蒸気量とが直線関係を持つよう考慮されている。

2.3.2 保安装置

(1) 主塞止弁

主塞止弁は油圧ピストン、パイロット弁を備えた油圧作動弁で全開および全閉の位置をとる。主弁は子弁付の単弁座形で、まず子弁が開いて蒸気が流入し、主弁前後の圧力差が10~15%以下になると初めて主弁が開く構造となっている。応急遮断装置が働いたときこの弁は油圧を介して全閉し、主蒸気がタービンへ流入しないよう急速に遮断する。弁の出口側はベンチュリ形として圧力損失の軽減を計っており、弁全開の際は弁棒とブッシュにある段が密着し、弁棒に沿って漏洩する蒸気を完全に防止しうる構造となっている。

(2) 非常调速機

非常调速機は偏心リングおよび圧縮バネを備えタービンが定格回転中は偏心リングによる遠心力とバネとが釣合って不作動状態にあるが110%±1%に達する

と遠心力の増大によって偏心リングとバネとの釣合が破れて偏心リングが外方へ飛び出し応急遮断装置を動作させて過速を防止する構造となっている。

(3) 真空低下警報遮断装置

本装置は復水器の真空度に応じてペローが変位し、パイロット弁によって油圧ピストンが動作する構造で真空度が異常に低下し、運転中は500mmHg以下また起動時は250mmHg以下になった場合、主塞止弁および空気切換弁に通ずる油圧を排油側に連絡し、主塞止弁を閉鎖する。さらに運転中600mmHg以下になった際には警報を発する構造とした。

(4) 油圧低下警報遮断装置

本装置は潤滑油給油管末端に設けた圧力接点が、油圧が1.3 kg/cm²g以下に低下したとき警報を発し0.7kg/cm²g以下に低下すると真空低下遮断装置の電磁遮断機構に働いてタービンの応急遮断を行う。また調速油圧が4 kg/cm²g以下に低下した場合負荷制限器内のトリップレバーがはずれて負荷制限器を閉にし応急遮断を行う構造となっている。

(5) スラスト摩擦遮断装置

本装置は温度継電器を使用し推力軸受が摩擦してロータが軸方向に0.8 mm移動するとロータに設けたデスクと温度継電器内のエマゼンシーリングが接触発熱し温度継電器が動作して真空低下遮断装置の電磁遮断機構を動作せしめ、応急遮断を行って翼そのほかに重大な事故の発生を防止している。

以上述べた調速保安装置は、日立産業用タービンに採用した独特の機構であり、工場や現地における単独あるいは総合試験に優秀な成績を収め、きわめて信頼度高くその実用性については十分確認されたものである。

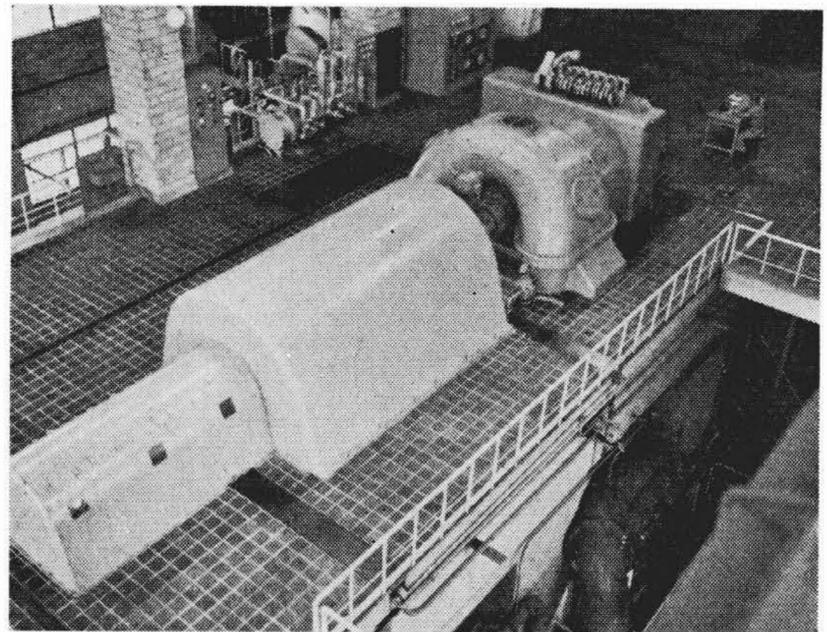
3. 発電機の仕様および構造

タービンと直結される発電機は最新式の日立産業用標準形タービンに対応した最新の標準設計によるもので、構造簡単にして堅牢、高性能で保守運転も容易な優秀機である。200 MVA をこえる事業用大火力発電機が陸続として製造される今日において、容量的には特筆すべきものではないが、発展期を迎えて合理化された日立火力の一断面を示すものとしてここに簡単に紹介したい。

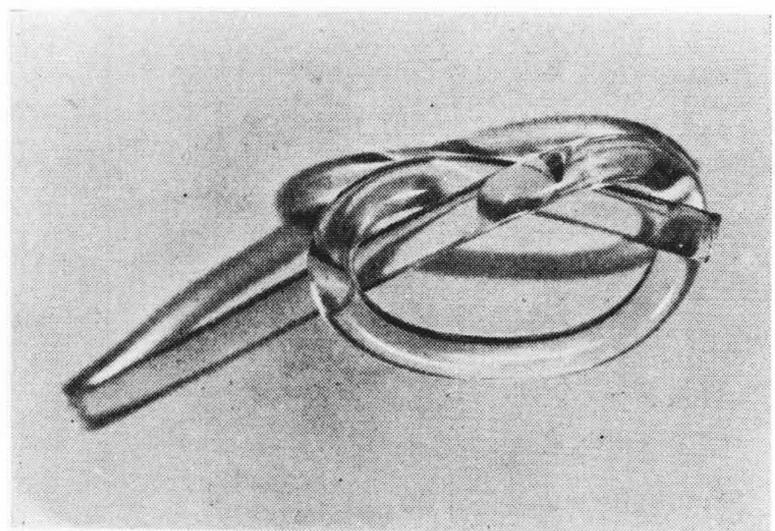
3.1 発電機および励磁機の仕様

発電機

形 式	閉鎖通風形非凸極回転界磁式
出 力	18,750 kVA
電 圧	11,000 V
力 率	80%
周 波 数	50~
回 転 数	3,000 rpm



第5図 18,750 kVA タービン発電機



第6図 SLS ワニス

励磁電圧	220 V
接 続	三相星形結線6本口出し
主励磁機	
形 式	閉鎖通風形他励磁巻線式
容 量	90 kW
電 圧	220 V
回 転 数	3,000 rpm
副励磁機	
形 式	閉鎖通風形複巻式
容 量	2 kW
電 圧	11 V
回 転 数	3,000 rpm

3.2 発電機の構造

3.2.1 固定子枠

固定子枠は熔接鋼板製で運転中の振動や不平衡磁気吸引力に対しても十分頑強につくられている。

枠は冷却風の通路となっている。鉄心背部と枠側板との間の空間は仕切板によって軸方向に三つの空間に分割されており、鉄心中央部の空間が入気室、その両側がそれぞれ排気室になっている。通風翼によって送り込まれる風は排気室を貫く通風パイプを通して中央部の入気室に直接はいるので、最も温度上昇の高くなる

べき発電機の中央部が十分冷却されて好結果を得た。

3.2.2 鉄心および線輪

電機子鉄心には高級けい素鋼板を使用し、これに一板ごとに特殊ワニス塗布し熱風で均一に焼付けたものである。

固定子線輪はワントーンコイルが使用され、巻線を入れる溝には開溝を採用した。

線輪の絶縁には、日立製作所において研究開発された新合成樹脂 SLS ワニス絶縁方式が採用された。SLS ワニスはワニス自体としても電気的、機械的特性にすぐれた熱硬化性ワニスで第6図に示されるように硬化後も柔軟性が失われず、マイカを主体とする絶縁層に注入してもその特性がそのまま生かされるもので、負荷の増減に伴う固定子線輪の加熱、冷却による導体の膨張、収縮に対しても絶縁層は完全に追従し、移動亀裂を生ずることがない。製鉄用負荷のように変動のはなはだしい場合には特に好ましい特性である。日立製作所では戦後いち早くこの新方式の開発に着手し、今日では事業用、産業用の別なくすべてこの新方式の絶縁を採用している。

溝内および溝出口の線輪表面には適正な配合のコロナ防止塗料を塗布してある。

3.2.2 回転子

回転子軸材はニッケルモリブデンバナジウム鋼の単一鋼塊を使用した。超音波探傷そのほかの厳格な試験に合格した最優秀品である。

回転子には線輪を入れる溝の外に、歯部にも全長にわたって通風溝が切っており、胴部両端からこの溝に冷却風が送り込まれて、通風溝楔間の通風孔から放出される。これによって界磁線輪は効果的に冷却される。

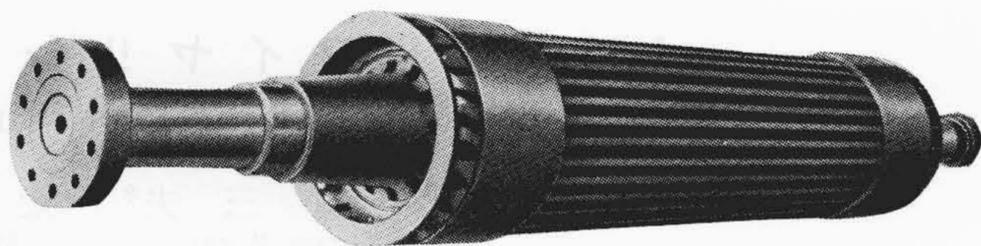
界磁線輪端部に加わる強大な遠心力は特殊鋼の保持環によってささえられている。保持環は釣合環に強く焼ばめし片持支持され回転子胴部とは絶縁されているので、不平衡負荷などに起因する回転子表面電流が流れても保持環が局部過熱されるようなことは起り得ない。

通風翼には強力かつ高性能のラジアルファンを採用し、これを釣合環に取り付け、十分なる冷却風を発電機内に循環させている。

3.2.3 界磁線輪

界磁線輪はあらかじめ成形された硬銅帯を溝に挿入しながら組み立てたもので、強く圧縮されたマイカペーパーを主体とするB種絶縁で、高速回転にはなはだしく大きな遠心力および線輪の熱膨張による応力に耐えるように考慮が払われている。

熱膨張による伸びが拘束されて線輪端の部分が変形



第7図 回転子

して層間短絡や接地事故を起しやすいので、この部分の構造には特に考慮を払い、間隔片の配置および保持方法には万全を期した。

3.2.4 その他

回転子の振動調整は釣合環に取り付けられたバランスポケットに重量を加減することによって調整され、実際に温度上昇した状態において振動を調整して出荷した。

スリップリングは保守取扱いに便なるように励磁機側軸受台の外側に2個並べて取り付けられた。リングの表面にはらせん状に溝を切り、刷子電流の不均衡を除くようにし、またリング側面に凸出部を設けて冷却効果の改善を計っている。

主励磁機および副励磁機は可撓接手によって直結され、スリップリングを含めて美しい鋼板製のカバーによっておおわれ、主励磁機と副励磁機の間に取り付けられた通風翼によって主発電機とは別個に通風されている。通風路には特に考慮を払って刷子粉が機内に蓄積されないようになっている。カバーによって刷子摺動音が防がれまた外観もきわめてスマートなものである。

4. 結 言

以上、日立製作所において製作された川崎製鉄株式会社千葉製鉄所発電用15,000kW復水タービンおよび発電機の概要について述べた。本機の製作にあたっては細部にわたって入念な検査を行うとともに組立後の工場試運転においても各部の厳重な試験が慎重に行われたがいずれも優秀な成績を収め、特に振動、各種制御装置などはきわめて安定した特性が得られた。すでに本機と同形式の機器が数台製作されており、さらに自家発電特有の背圧、抽気タービンや産業用として超高圧、高温のタービンなども、最新の特殊機構をもったものの設計製作を進めている。

このようにしだいに合理化された産業用機器が続々と設置されることは産業界の発展とともにきわめて喜ばしいことであり、今後増々発展していくことが望まれる。

最後に本機の製作にあたり終始御懇切な御指導をいただいた川崎製鉄株式会社千葉製鉄所の藤井動力部長をはじめ関係者各位に深甚なる謝意を表する次第である。