

印度マツラ発電所納

## 12,500 kW タービン発電機

高林 乍人\* 中原 壽雄\*\*

12,500 kW Turbine Generator for  
Madura Power Station in India

by Hayato Takabayashi

Toshio Nakahara

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

**Abstract**

As the source of power in southern India the 10,000 kW turbine generator was ordered to Hitachi, Ltd. by Indian Government in the hand of his companies.

This generator has a great responsibility from various point of view ; representation of Japanese industrial products after the world war II and electrification of his industry. This reason made him present a severe specification to Hitachi Ltd. both in design and in manufacturing.

So having applied new ideas and new methodes accumulated during our long history we prnduced an excellent generator which will fully satisfy his demands at site.

This generator has many special features ; For instances ; this is to be operated in parallel with another 4,000 kW turbine generator so he required it to have a rather great fly-wheel effect, and other specifications are mainly based on British standards.

Especially this generator is operated in tropical zone — he presents us 43°C as ambient temperature —, so special cooling effect is necessary in order to satisfy the temperature conditions.

For the purpose of lessening the stray losses which have rather remarkable effect on efficiency and heating of generator, special attentions are paid for a various part of constructions and materials. For many parts near or contacted with magnetic circuits, non magnetic special metals are used. At the same time, special ventilation system is applied for stator, rotor and coils.

For excitor, and sub-excitor, too, many parts are constructed by special methodes in order to get good commutation, high efficiency, low temperature rise, high rate of quick responce of voltage, etc.

The results of test at factory showed the excellency of our skill in design as well as in manufacturing. I dare to say that the gems of our experiences for many years and the skill of design and building are crystallized into this generator.

After having been finished carefull test at factory this generator with turbine was shipped last autumn. And now they are building it up at Madura. I hope that some day later I can introduce a news concerning this generator from India on this paper.

---

\* \*\* 日立製作所日立工場

[I] 緒 言

今回印度マヅラ発電所に納められた 12,500 kVA タービン発電機及び変圧器は戦後我国の電気技術界が輸出する代表的製品である。マヅラ発電所は印度、南部マドラス州のマヅラ市に設置され、印度南部の工業動力を供給すべき重大なる使命をもつものである。茲にその中の 12,500 kVA 発電機について概略の紹介をする。

製品の完全を期する為に先ず担当者がインドに渡つて実態を調査し、細部にわたる打合せ等周到な準備のもとに設計製作を進め、既に昨年十月試験を完了して、目下現地に於いて据付中であり、近々運転に入る見込みであるが、運転の暁は工場試験の優秀な実績に照らし、必ず彼の地の要望を十分に満足し得る事を確信している。

[II] 本機の仕様

特に明示されない仕様事項は B. S. I. Specification No. 226 (1929)によつている。仕様中の主なるものをあげると

発電機：	型 式	EFB-K
	定 格	12,500kVA
	連続最大出力	10,000kW
	力 率	0.8 (遅れ)
	定 格 電 圧	11,000V
	最大運転電圧	定格電圧+10%
	周 波 数	50 $\omega$
	廻 転 数	3,000r. p. m.
	短 絡 比	1.0
	結 線	三相星型結線、6 本口出

し中性点抵抗接地式

蓄勢輪効果 3,420kg-m<sup>2</sup>

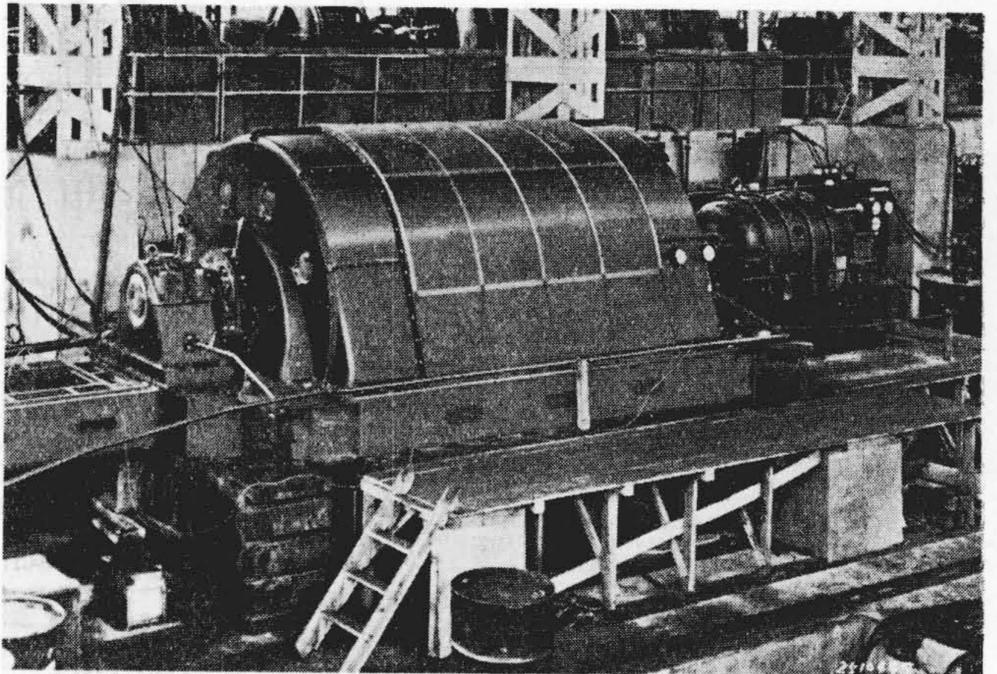
温度上昇 (入気温度を 40°C と想定して)

固定子巻線 (埋入温度計により) 50°C

回転子巻線 (抵抗法により) 90°C

固定子鉄心 (温度計により) 59°C

主励磁機：	型 式	FB-SP
	定格出力	70kW
	定格電圧	220V



第 1 図 マヅラ発電所納 10,000kW ターボ発電機

Fig. 1. 10,000kW Turbine Generator for Maduras

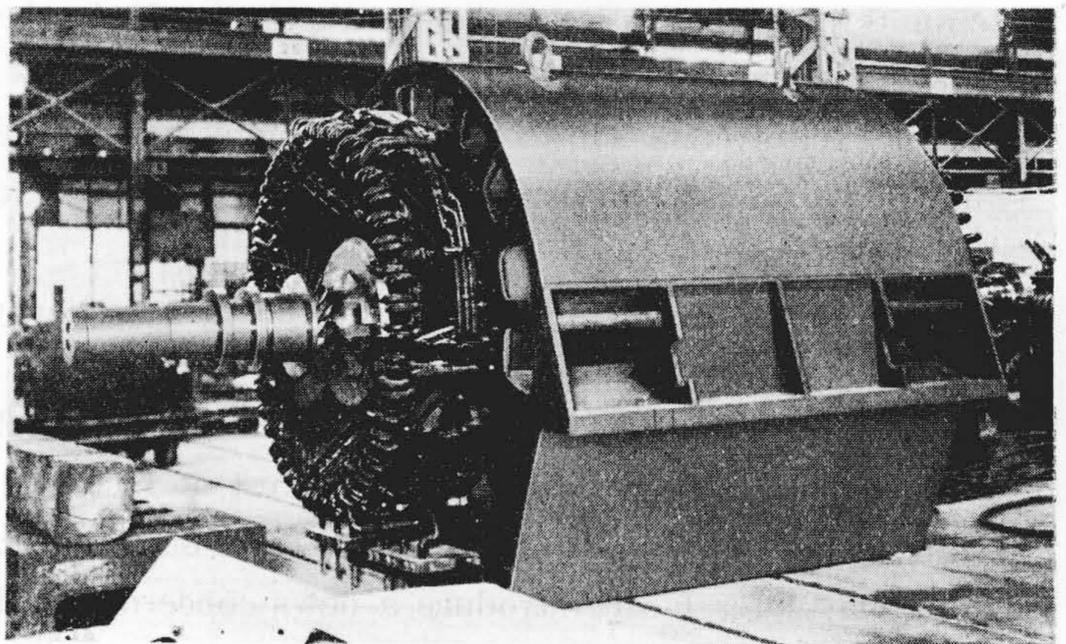
定格電流 318A  
 回 転 数 3,000r. p. m.  
 出力としては、発電機が力率 0.8 の全員荷時に 12,000V 迄出しようる。

温度上昇 限度としては周囲温度を 45°C と考えた場合の励磁機各部とも温度計法によつて 45°C としている

副励磁機：	型 式	FB <sub>0</sub> -K
	定格出力	3kW
	定格電圧	110V
	定格電流	27.3A
	回 転 数	3,000r. p. m.

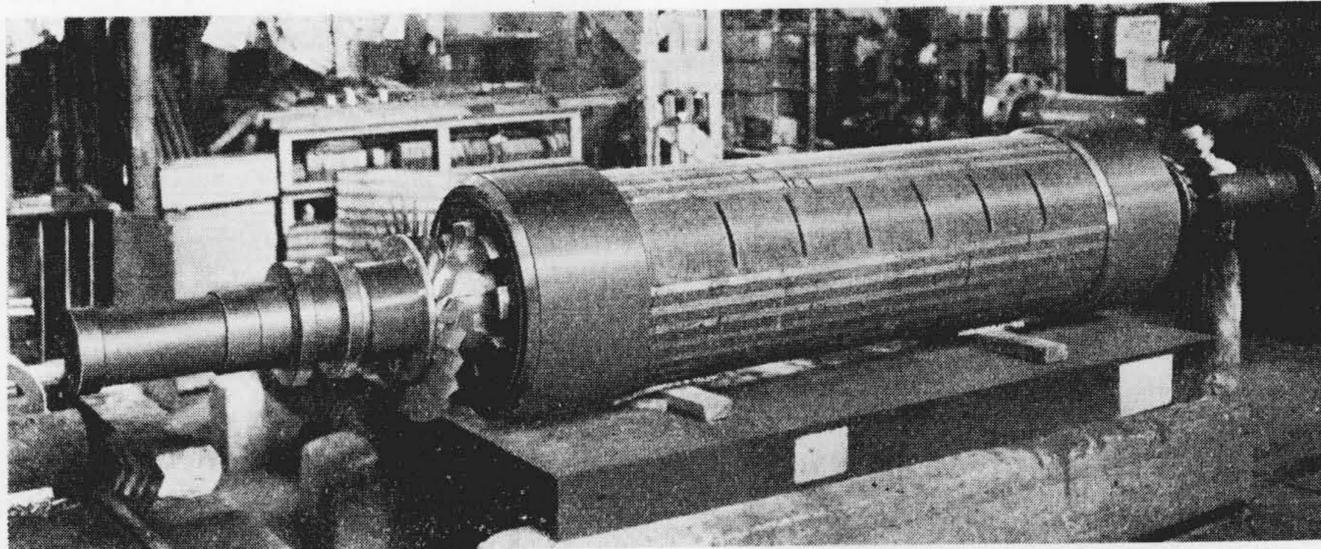
[III] 発電機の構造

第 1 図に工場に於ける組立完了後の写真を示す。次に発電機の構造について概要を述べる。



第 2 図 廻転子を挿入した固定子 (励磁機側)

Fig. 2. Stator with its Rotor (Exciter Side)



第 3 図 完成せる廻転子

Fig. 3. Completed Rotor

### 固定子

固定子は日本国有鉄道員及び印度鉄道の輸送限界に納まるように設計され、一体の完成品として発送された。特に大きい蓄勢輸効果の要求を満たすため、廻転子が標準よりも、大型となりそれに伴い固定子も大きくなっている。

固定子線輪は日立製作所が誇るマイカペーパーを主体として構成された完全な B 種絶縁である。短絡時の衝撃に対しても完全なように、線輪端の支持及び線輪間の絶縁に対して十分な考慮を払い、特に本機は湿気が多い熱帯で使用される故、絶縁劣化現象に対しても細心の注意を払った。なお線輪は漂遊損失を少なくする為に線輪端に於ける形は、円錐形のインボリユートを形成し、その素線は溝内に於て完全な転位を行つてある。(第 2 図)勿論溝内絶縁は温度上昇のための素線の伸縮によつて生ずる絶縁物の内部応力を無くする為に十分の柔軟性をもたせ、コロナの原因となる気泡を生ぜざる如く製作されている。更にコロナ防止のためには溝内及び溝出口の表面を適正な配合の半導体塗料によつて処理してある。

電機子鉄心は高級珪素鋼板を以て作られ、一枚毎に完全なワニス焼付が施してある。軸方向には通風渠が設けられてある外、特殊の通風が考えられ、歯端の冷却面積を増すと同時に線輪表面の磁束による影響を少なくしてある。

固定子枠はすべて圧延鋼板を溶接により組立てたものである。枠内は軸方向に四つの室に区切られているが、これは特殊の通風効果をうる如くしたものである。従来外側カバーは固定子枠完成後枠にボルト付されたのであるが、本機に於ては枠室を仕切る五つの枠板に外側カバーをそれぞれ溶接する事にした。これは気密性を増して外部の湿気の浸入を防ぐのに役立つものである。軸流ファンにより吸入された空気は一部は固定子廻転子間の空隙に送られ、一部は固定子端枠窓から左右の室に送り込まれる。この並列に送入れた冷気は固定子鉄心及び線輪

を冷却して中央の二室に集められて下部の空気冷却器に送られる。即ち風の通路の断面積を大にする事は冷却効果を大にすると同時に通風による損失水頭を減ずる事になる。なお通風渠の間隔片は単にこれを規定の寸法に保つばかりでなく、この間の風の通路を指定して冷却効果をよくするように配列されたものである。

線輪支持腕、固定子鉄心エンドプレート及びエンドカバーは漂遊損失を少なくする為に非磁性の特殊金属を用いてある。

### 廻転子

第 3 図は廻転子の外観である。廻転子の冷却効果を大にするため矢張り特殊の通風方式が用いられた。即ち軸方向及び半径方向の通風路を工作してある。

界磁線輪は銅帯を予め成型しておいて、これを廻転子に挿入し乍ら組立てるのであるが、絶縁は矢張りマイカペーパーを主体とし高速による内部応力及び銅線の熱膨脹による内部応力に十分耐える如く、細心の注意を以て組立られている。線輪端は特殊の処理を施した間隔片を以て完全に保持され、線輪の伸縮による線輪端の運動を完全に吸収するような構造になっている。プロテクトリングは内側半分を非磁性材料とし外側半分を磁性の特殊鋼によつて構成している。

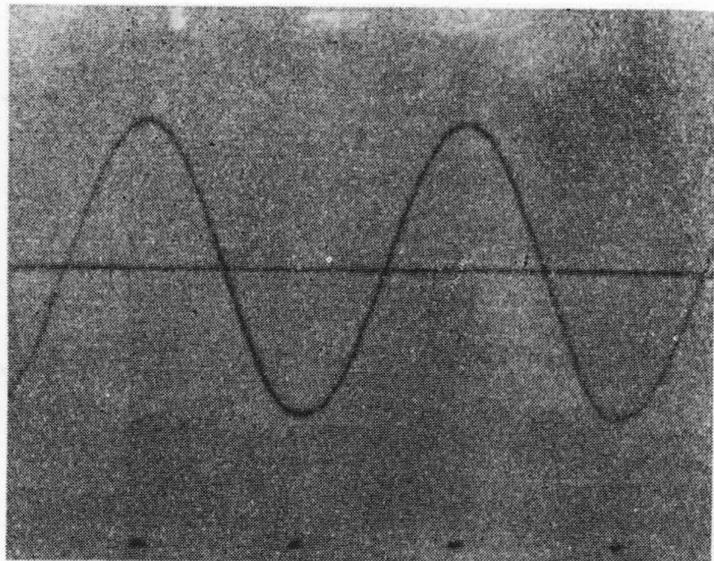
その他スリップリングは磨耗の少い材質を選び非磁性材料とし励磁機側ペデスタルの内側に並べて置いた。ペデスタルは特に強固な構造とし、軸電流を防止する為に絶縁も完全に行われ、ベースは圧延鋼板を以て軽量、頑強のものとした。

### [IV] 発電機の試験

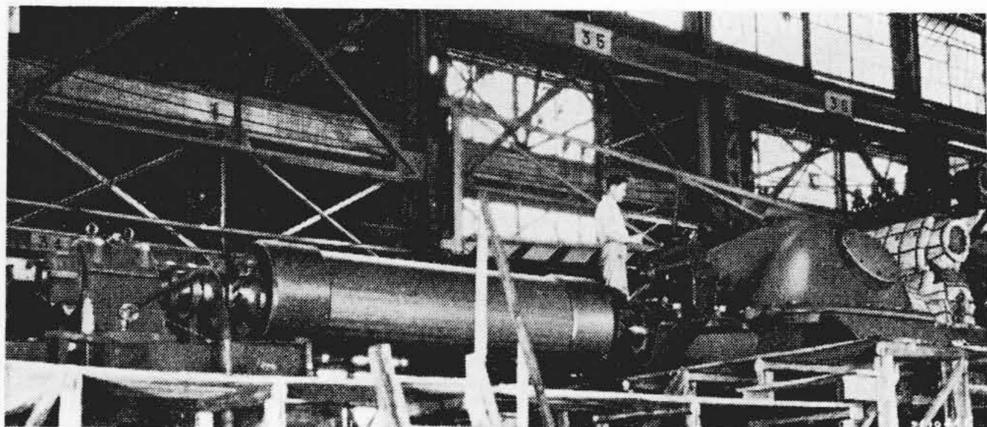
本発電機は工場に於て完全な組立を行つて後、先方の要求に従つて詳細な試験が行われた。ここに発電機のみ試験内容についてのべる。

#### (1) 損失及び能率試験

能率の良否が機械の良否を判定する重要因子たる事は



第 4 図 発電機の電圧波形オシログラム  
Fig. 4. The Oscillogram of Wave Form of Generator



第 5 図 タービンと発電機廻転子の直結試験  
Fig. 5. The Combined Test of Generator Rotor and Turbine

云うまでもないのであるが、我々は本機の製作にあつては特に損失を少なくする事に注意を払い、既に構造の項で述べた如く導体の漂遊負荷損（これはタービン発電機では特に問題となる。）を少なくする為に構造上材質上種々の改良が加えられた。更に鉄損を少なくする為に高級珪素鋼板を用いた事は既に述べた。

#### (2) 温度上昇試験

上述の如く特殊の通風方式並びに損失減少の方法が用いられた為に、該試験に於ても優秀なる結果をうる事ができた。工場に於ては実負荷試験を行わずに、鉄損失による温度上昇（これは定格電圧、零負荷電流で行われる。）銅損失による温度上昇（定格電流低電圧で行われる。）並びに機械損による温度上昇（零電圧零電流で行われる。）値より簡単な運算により実負荷の場合の温度上昇値が推定される。推定値は次の如くである。

電機子巻線	32°C (埋入温度計法)
回転子巻線	70°C (抵抗法にて)
集電環	43.2°C (温度計法にて)

本機は特に周囲温度四十数度と云う熱帯に於て使用されるものであるから、温度上昇値は可成り低い事が望ま

しいわけである。

#### (3) その他の試験

各種リアクタンスは実測により求められた。電圧波形の試験結果歪率は非常に小さかつた。その電圧波形のオシログラムを第 4 図に示す。過速度試験は工場的高速試験用ピットの中で行われた。このピットは周囲が厚い鉄筋コンクリートでできていて、最も安全に過速試験を行う事ができるようになっている。115% 過速（即ち、3,450 r. p. m.）試験 5 分間の結果各部共機械的強度の十分な事が確められた。耐圧試験は電機子線輪に対して、25,000V (BSS では 23,000V であるが) 回転子巻線に対しては 2,200V をかけて行われ、絶縁の完全な事が確められた。工場のピットで振動試験も行われたが不完全な取付け（工場ではコンクリートのベースに取付けない）

にもかかわらず、更に発送に先立つてタービンとの直結試験により総合振動試験が行われ、矢張り好結果を得た。第 5 図はその試験の時の写真である。

### [V] 勵磁機

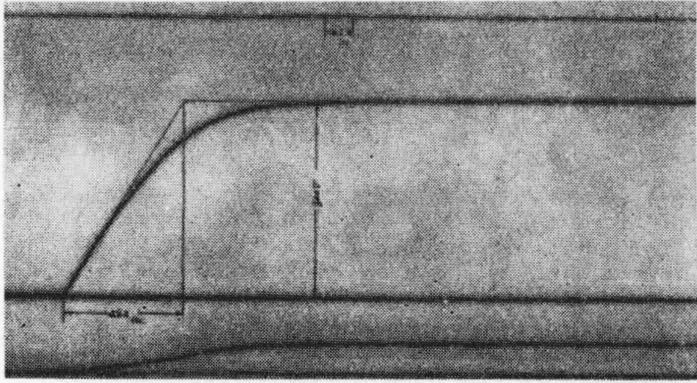
ターボ発電機用励磁機は、高速により設計上の難点を伴う。我々は多年の経験に基き、あらゆる点からみて完全なものを作つた。発電機の負荷の急変に際して速応励磁とし、電圧上昇率頂上電圧を十分高くとりそのために各磁気回路線輪インダクタンス等に特殊の注意を払つた。

又直流機の生命たる整流に関しては一般に高速度になるとリアクタンス電圧が高くなり、整流が困難となるのであるが、整流子の特殊構造、良特性の刷子及び刷子保持器の使用、適当なる補極の設計、電機子線輪ピッチの選定等により、高速にかかわらず完全な整流を行つている。

電機子鉄板は精選された良質のものを用い、バインド線その他に特殊非磁性材料を採用する事により鉄損失を減少せしめてある。

主励磁機と副励磁機は共通軸上に取付けられ、軸長を短くすると共に軸は十分太くとり振動等を生じないように作られてある。即ち中央の軸受がなく両端は二個の軸受により確実にベースに支持されている。

両励磁機は一個のカバー内に納められ、内部通風を良好ならしめる為にファンを中間部に設置してある。ファンは音響を少なくするように設計され、外径は電機子通風渠の通風能率を考え適当な大きさに選んである。整流子片相互はシュリンラリングで固定されており、軸方向に熱による伸縮を自由ならしめ、運転中の温度上昇に起因する整流子片の変形その他の故障を除去する様片側の支持にはバネ板を使用してシャフトに取付けられている。こ



第 6 図 励磁機の速応励磁特性オッシログラム  
Fig. 6. The Oscillogram of Quick Response Excitation Characteristic of Excitor

の方法によれば整流子片の締付は確実であると共に無理がなく、又温度に対しても安全である。

軸受は強制給油式とし、高速度のために特に油切に注意し、フェルトパッキンと真鍮板を数個所に用い、内部に油が洩れる事の無いように細心の注意が払われている。

電機子鉄心は線輪を入れる溝の形状に対して高速に耐える様考慮され、又線輪抑えの楔には十分な強度を持たせると共に溝寸法は整流上相当の因子となるものであるから、幅及び深さの選定には特に注意が払われた。鉄心外の部分は十分な強度の非磁性バインド線により支持され鉄損を減少せしめてある。

本機試験は主、副励磁機共に優秀な成績を収めた。この試験は 100kW 三相誘導電動機を直結して行つた。全負荷に於いても部分負荷に於ても共に無火花条件を満足し、過速度試験は発電機と同じく 15% 過速で 5 分間の運転により、その安全性を確認した。主励磁機の回転子は 2,200 V 他は全て 2,000 V で耐圧試験が行われ、耐圧の十分な事も確められた事は云う迄もない。更に速応励磁が問題となつたので、速応率の試験もなされた。その試験結果を第 6 図に示す。即ち頂上電圧 300 V 速応率 715 V/sec と云う好成績を以て励磁機の試験を完了した。

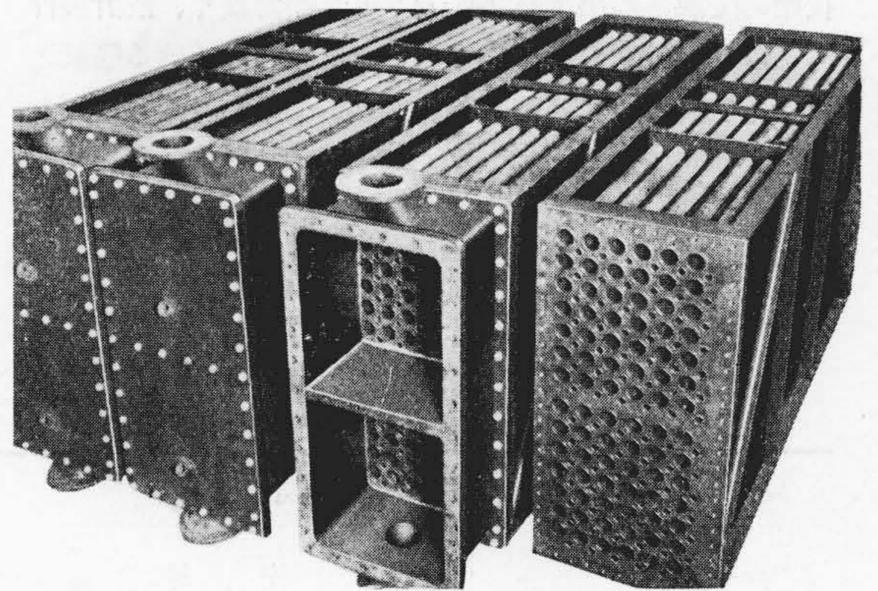
### [VI] 空 気 冷 却 器

空気冷却器の仕様 (第 7 図)

容 量	400 kW (100 kW × 4)
所 要 水 量	32l/sec
冷 却 空 気 量	16.6m <sup>3</sup> /sec
入 口 空 気 温 度	70°C
出 口 空 気 温 度	49.5°C
入 水 温 度	45°C
排 水 温 度	46°C

冷却器冷却方法概要

空気冷却器は発電機下部、基礎の中に作られた風洞の



第 7 図 空 気 冷 却 器  
Fig. 7. The Air Cooler

底に置かれる。発電機により暖められて中央の風洞を降りて来た空気は直ちに空気冷却器に入る。これで冷された空気は、発電機シャフトに取付けられた軸流ファンによつて機内に運ばれ、一部は固定子回転子間の空隙に入り、一部は線輪端を通つて固定子の外側から入る事になる。ダンパは冷却器の入口と出口に一對ずつ設けられ、従来は全部を同時に開閉する方式であつたが、本機に対しては特に個々のダンパの開閉を自由にする如くした。これは全ダンパを一つの動力で操作する時、中には密閉度の悪いものも生ずるおそれがあり、特に本機が周囲の条件の悪い所で用いられる故、密閉を固くする為にこのような方法が採用されたわけである。冷却器の伝熱部分即ち冷却管及びフィンが高熱伝導性を有する銅合金で作られ、それぞれの管の配置も間隔を適当にして、通風による水頭損失を極力減少するように工夫されている。1 個の冷却器を通る間に十分熱伝達がなされる故、多量の風を冷却する為には並列に並べる事になる。本機は 4 個を並べて用いている。

試験について

現地に於ては組合せの試験を行うのは当然であるが、工場に於ては発電機本体と冷却器と別々に試験を行つた。更に 4 個並列に置くわけであるから、試験は 1 個の冷却器に対して種々の試験を行つた。通風及び通水の水頭損失も可成り低い値であつたが、更に冷却効果の試験も予期通りこの伝熱効果を得ている事がわかつた。該試験は別に風洞を設け、冷却器の入口に数本、出口に数本の寒暖計を置き、更に流入する空気の冷却器入口表面に於ける温度分布を均一ならしめる為にヒーターを数個並べて用いた。

### [VII] 結 言

上述の如く本機にとつて注目すべき事柄は、これが戦

後始めて海外に出されたと云う事だけでなく、設計製作にあたり、日立の多年のタービン発電機に於ける経験と数十年の製作技術の蓄積を集中して出来上つたものであると云う事である。

目下マヅラに於て据付中であるが、近日中に完成の見込で後日再び本誌上に実地試験結果も発表できる事と思う。

### 昭和 27 年 4 月中に於ける日立製作所社外投稿一覽

投 稿 誌	題 名	所 属	執 筆 者 名
マネージメント	簡易な安い鉄合金の防蝕	亀戸工場	吉田正美
電気協会誌	蛍光灯の直列共振型点灯方式	茂原工場	江川鱗之助
精機学会誌	伸線作業条件の研究(その1)	日立電線工場	{久本方男 柿崎公男}
日本化学会誌	超遠心法による鎖状高分子の研究(1)	中央研究所	{黒崎重彦 須藤卓郎}
燃料便覧	電子顕微鏡	中央研究所	古野文哉
オーム	80.5kV 4,000 MVA 遮断器	本店	吉山博吉
日本鉄鋼連盟	工場見学記(日立製作所安来工場)	安来工場	角田春三
電気書院	電力技術大系(変圧器)	日立工場	木沢修
日本機械学会誌	北海道電力江別発電所に於ける日立水管 汽罐の性能に就て	日立工場	{三代勘三郎 小玉美芳}
日本学術会議 日本学術振興会	刷子保持器の動作特性について	{日立研究所 日立工場}	武政隆一郎 桑原繁太郎
オーム	電力遮断器	多賀工場	桑山正俊
電気通信協会誌	自動交換機の品質向上についての見透	戸塚工場	渡辺孝正
電気学会誌	自記分光々度計	中央研究所	角野正夫
科学読売	電子顕微鏡	中央研究所	森戸望
建設機械化協会誌	セメント輸送装置	川崎工場	相沢武夫
オーム	誘導電動機の選定取扱と故障の早期手当	亀戸工場	益田貞三
マシナリー	工作機械油圧駆動の動向	川崎工場	花岡浩
金属学会誌	低タンゲステン、モリブデンバナデウム 高速度鋼に於ける各元素の影響	安来工場	小柴定雄
農業電化協会誌	新型日立反撥起動式单相モートル	亀戸工場	鈴木繁好