

電源開発株式会社御母衣発電所用
125,000 kVA 交流発電機
 125,000 kVA AC Generator for the Miboro Power Station,
 Electric Power Development Co., Ltd.

田 附 修* 高 橋 昭 吉* 森 昌 夫*
 Osamu Tazuke Shōkichi Takahashi Masao Mori

内 容 梗 概

電源開発株式会社御母衣発電所用 125,000 kVA 交流発電機が完成し、現在据付け作業中である。本発電機は世界有数の大容量機であるとともに地下式発電所に設置されるという点で特筆すべきものである。そのため設計製作上いくたの新しい方法が採用されたが、工場試験の結果それらはいずれも所期の性能を発揮したことが確認された。ここに本発電機の構造性能上の特長について概説する。

1. 緒 言

大規模なロックフィルダムとして、その完成が注目されている電源開発株式会社御母衣発電所に設置される 125,000 kVA 発電機 2 台が日立製作所日立工場において完成し、現地における据付けも順調に進み昭和 35 年末には発電開始となる段階に至った。

本機は世界有数の大容量機であるとともに、地下約 100 m に設置された完全地下式発電所用のもので、経済上、保守上の見地から、端子電圧は 16,500 V という当時最高の電圧を採用した点、機器の防音、防湿、室内への防熱などを考慮した点など新しい設計が施されており、さきに製作した同社佐久間発電所用 93,000 kVA 発電機などの大容量機の製作経験を基礎とし、さらに新しい技術を盛り込んで完成した記録品である。ここに本機の内容を紹介して参考にする次第である。

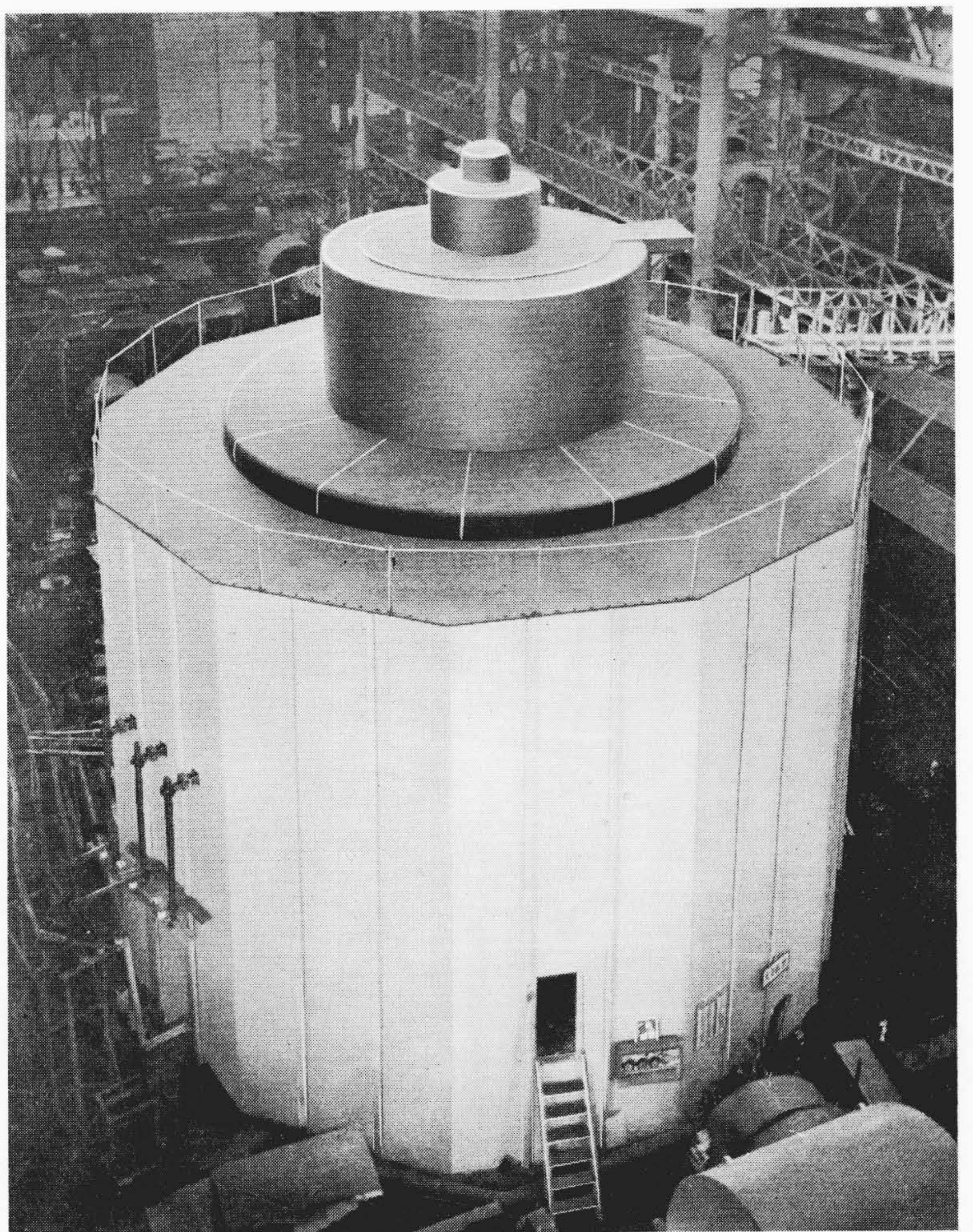
2. 発 電 機 仕 様

発電機.....立軸閉鎖風道循環形、空気冷却器付、
 凸極回転界磁式、制動巻線付

出 力	125,000 kVA
電 圧	16,500 V
電 流	4,370 A
周波数	60~(ただし 50~にても運転可能)
回転数	225 rpm (ただし 188 rpm にても運転可能)
力 率	0.9 (50~において 1.0)
短絡比	1.1 以上 (60~において)
G D ²	10,500 t-m ² 以上
無拘束速度	434.2 rpm
線路充電容量	80,000 kVA 以上 (90%電圧において)
主励磁機	600 kW, 440 V
副励磁機	55 kW, 110 V
调速機用発電機	1 kVA, 110 V

本機は 60~機であるが、同一電圧で 50~運転もできる設計となっており、60~に対しては磁氣的に余裕のあるものとなっている。端子電圧は変圧器が地上に設置され、発電機、変圧器間の母線が約 270m に達する関係上、種々経済的に検討された結果 16,500 V が採用された。空気中で 16,500 V は従来例の少ない電圧であるが、絶縁

* 日立製作所日立工場

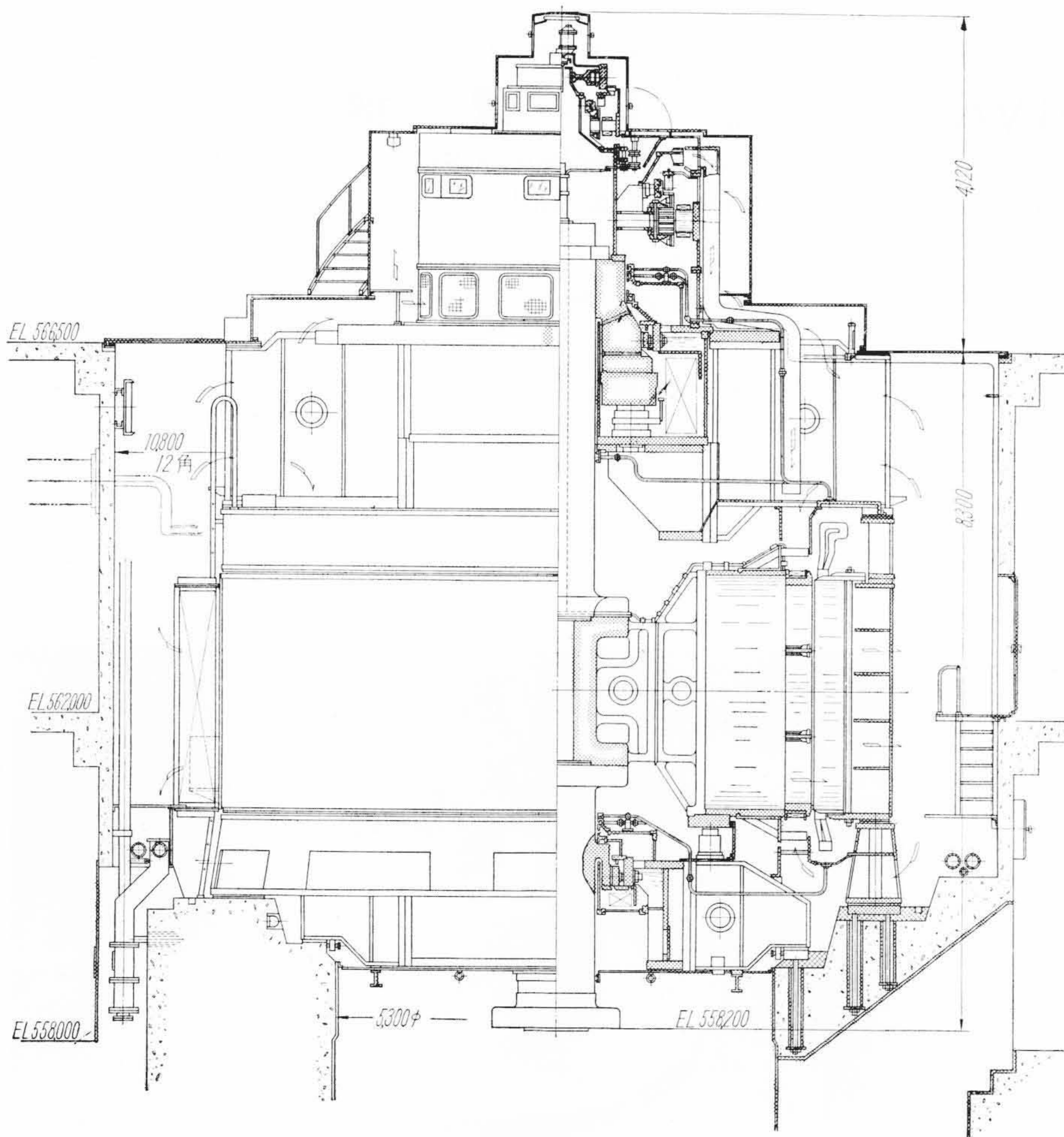


第 1 図 発電機の工場組立

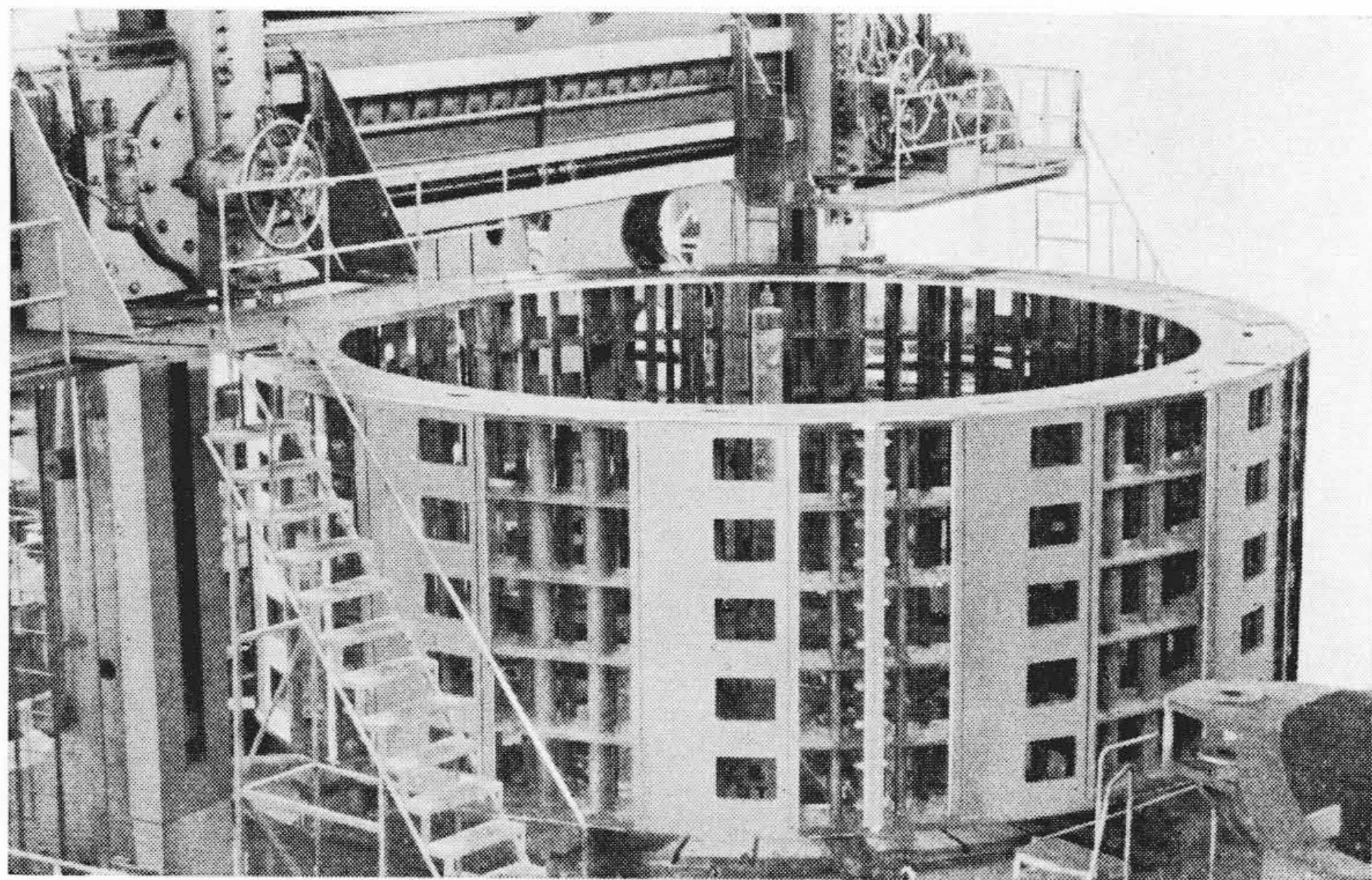
材料の進歩、コロナ防止技術の進歩により十分安全な確信のある電圧である。なお 50~運転も行われる関係で磁氣的な寸法は 50~側で制限を受けるが、電氣的性能、機械的性能はすべて常用の 60~側で制限を受けるという過酷な条件であったが、試験の結果はこれらがすべて満足していることが実証された。

3. 発 電 機 の 構 造

発電機の外観を第 1 図に示す。従来丸山発電所用 72,500 kVA, 164 rpm 機、佐久間発電所用 93,000 kVA, 167/200 rpm 機などの大容量機に対しては、かさ形構造を採用してきたが、本機は佐久間発



第 2 図 組 立 図



第 3 図 固 定 子 枠

電所用に比し定格回転数で約 13%、無拘束速度で約 19%も高くなっており、さらに容量で約 30% 上回る大容量機であるため、特に安定度を考慮して普通形構造を採用した。しかし発電機主軸は第 2 図にみられるように回転子上下部に分割し、つり上げの場合には回転子本体と下部シャフトのみをつり、クレーン容量および揚程の低減を計った構造となっている。発電所は完全地下式であり、発電機はコンクリート風道内に設置されるため、発電所における外観は第 1 図の上部風道のみとなる。地下発電所内設置という条件に対し、特に防音、防熱を考慮し、励磁機は密閉形として発電機本体の冷却空気を循環させ、その通風路には空気ろ過器を設けた構造としたほかに、

発電機本体および励磁機の発生熱を室内に出さぬよう風道内面には防熱材を取付け、さらにその上を鋼板でおおった二重構造の風道としてある。なお今回の輸送制限は、国鉄第 2 限界、重量 40 t で、このような大容量機としては小さいものであるが、本機は強度的にも構造的にも少しも無理を与えずこの制限内で設計製作された。

3.1 固 定 子

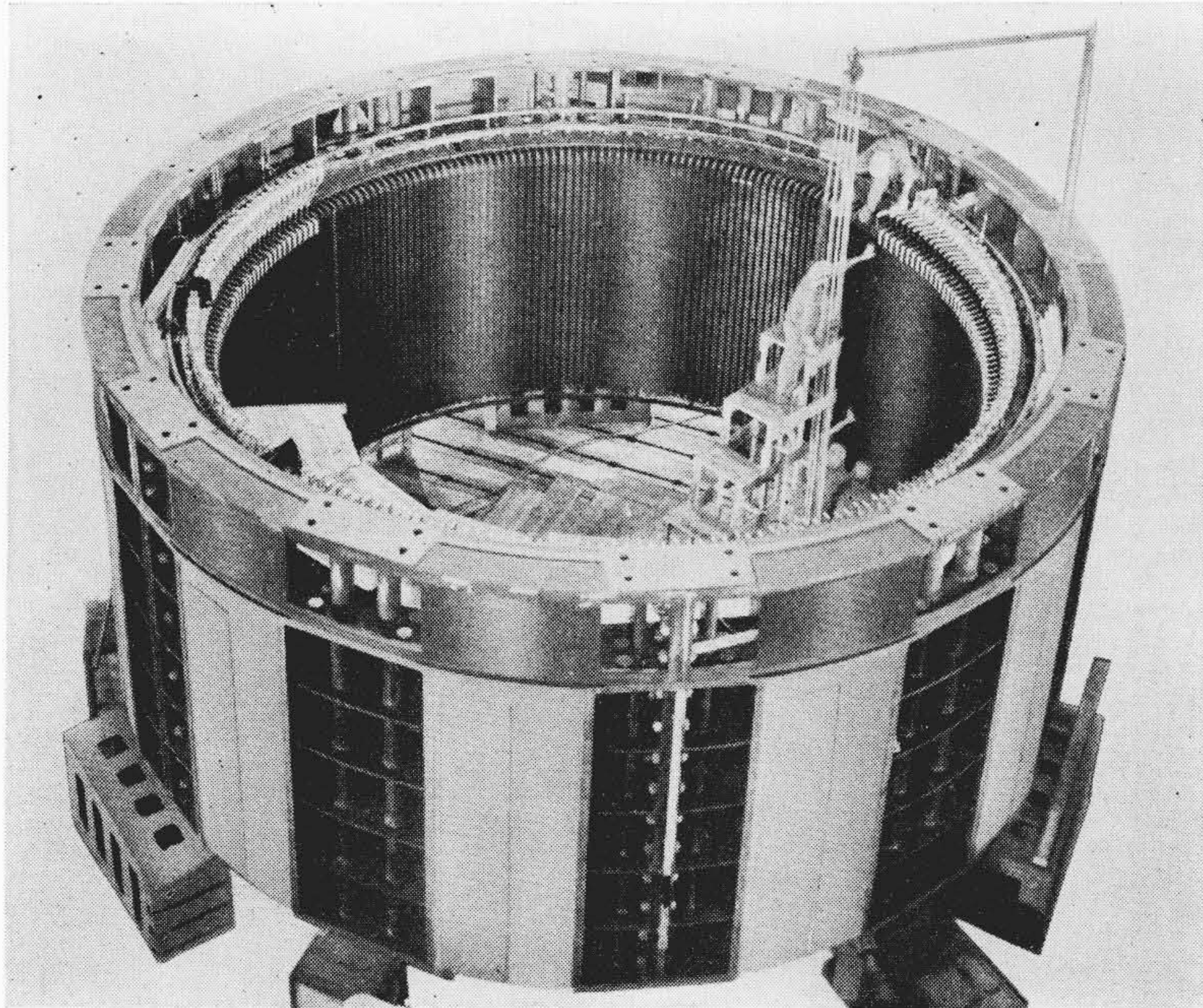
固定子は輸送の関係で六つ割とした。第 3 図に機械加工中の固定子枠を示す。固定子枠は精密な機械加工後、内部に鉄心が積まれるが、その機械加工の精度と相まって特殊な鉄心積の方法により約 3 m に近い積厚にもかかわらず、正確に溝部および歯部の合った鉄心が完成した。鉄心は無方向性の高級珪素鋼板を用いてあり、セグメントはワンスタンプ打抜きのものを採用したことはいうまでもない。鉄心は両端より非磁性のおさえ板で強固に締付けられる。積層間には適当間隔で通風ダクトが設けてある。

固定子線輪は重ね巻き一回巻きのハーフコイルで両端で接続される。マイカ、ガラスを主体とした絶縁で SLS ワニスを真空注入して製作されたもので、素線は直線部において転位されている。SLS 絶縁は従来のコンパウンド絶縁に比して熱膨脹収縮に対してはるかに強く、内部コロナ発生に対してもすぐれた絶縁である。使用電圧が 16,500 V という高い電圧なので、特にコロナの発生防止には留意し、溝出口におけるコロナ防止方法、特殊巻線による相間電圧の低減および相間コロナ防止方法などに新しい考案を採用し、優秀な成績をおさめた。第 4 図に作業中の固定子を示す。

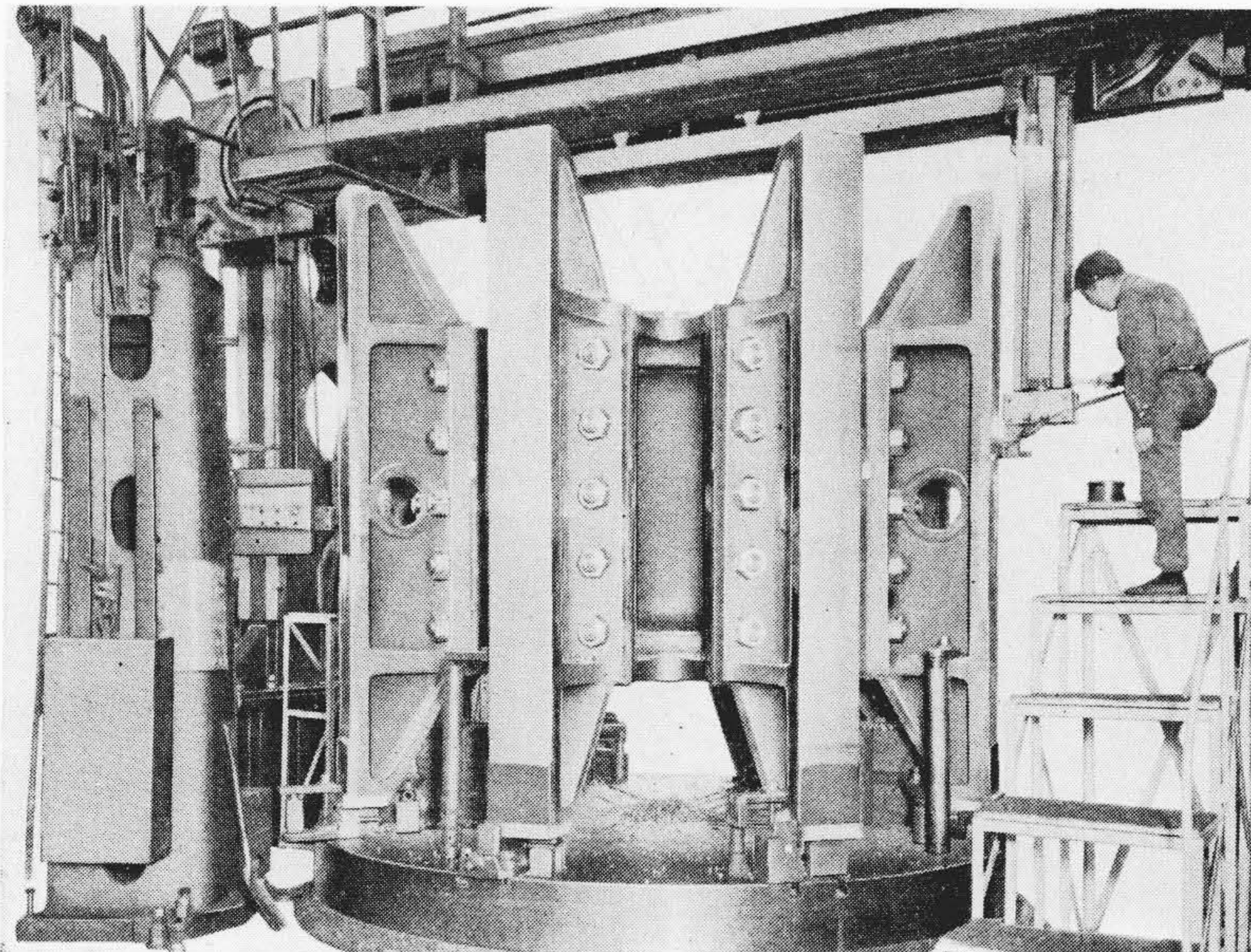
3.2 回 転 子

回転子は水車の無拘束速度 434.2 rpm においても十分耐え、かつ 3 m にも及ぶ高さとなるため慎重に設計製作された。回転子継鉄は扇形片積層式構造で円周 8 セグメントであり 3.2 mm

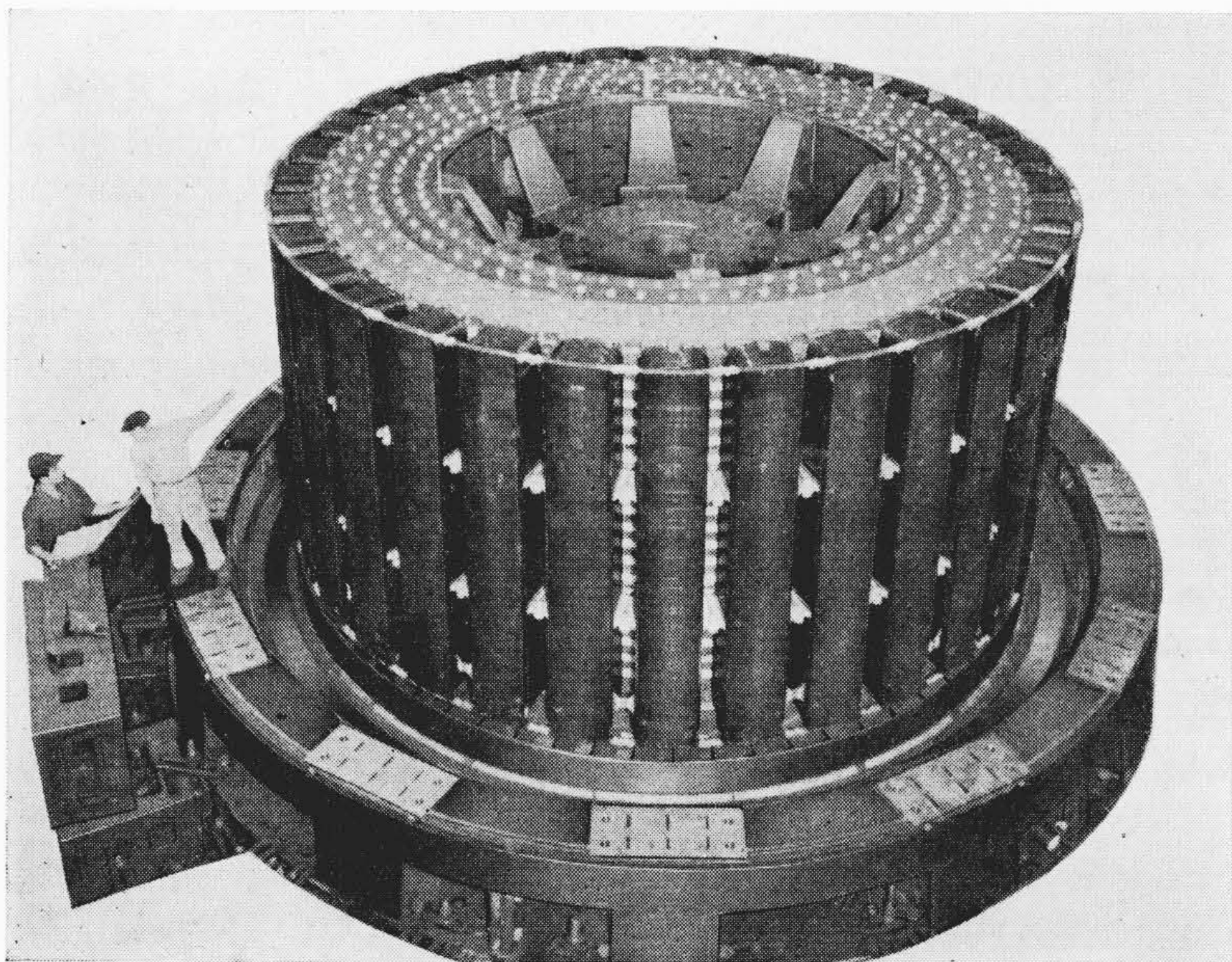
の高抗張力鋼板を使用した。扇形片は一回打抜きの非常に精度の高いもので、磁極数の倍の鳩尾溝が設けられたいわゆる遊び鳩尾溝付き構造である。これは前にも発表されたように、従来の一極ずつずらせて積む方式と比べてはるかに強度をますことができる上に、遊び鳩尾溝に梯形のくさびを入れることにより、継鉄自体の剛性をますことのできるものである。また扇形片の一部には端を切断したものをを用い、これを回転子中央部付近に入れて積み、有効に中央部に冷却風を送る通風孔を設けた。扇形片はリーマボルトを基準にして積まれるが、扇形片の精度が高く、すべての扇形片が完全に一致しているため、積む作業も容易で、積んだあとも仕上げをする必要がない。



第4図 固定子



第5図 回転子



第6図 回転子

幅鉄は鋳鋼製で輸送上ボスと8本のアームに分割される。ボスはその上下面においてそれぞれ上部および下部主軸と特殊な接線キーを介して強固に直結されるもので、それぞれ直結して旋盤上で振れ見がなされている。上部主軸は水圧を含む全推力荷重がかかるもので、上部にシャフトカラーが焼ばめされ、下部はフランジとなっており幅鉄と接続される。下部主軸は両端がフランジでそれぞれ幅鉄および水車軸と接続される。中間に下部案内軸受に対するランナが鍛造打出しで設けられている。第5図は幅鉄を示す。

磁極鉄心は積層式で鍛鋼製端板をあて、リベットにより締付けられたもので、頭部には制動巻線が取り付けられている。界磁線輪は平打巻で層間はアスベスト、対地間はマイカを主体として絶縁されている。線輪と鉄心部との間にはさらに柔軟性のあるシリコンゴムコンパウンドがそう入され、絶縁抵抗の向上および異物の介入絶無を計っている。界磁線輪の上下面には実物大モデルのヒートサイクル試験によりその優秀性が確認された絶縁ポピン板がそう入され、絶縁の完全を期している。

回転子上下面に取り付けられたファンは、全熔接製軸流ファンで、これは工場内試験設備の 50,000 kVA、600/720 rpm 機で種々比較試験を行った結果を基礎として設計されたものである。したがって予期どおりの通風性能を得たことはもちろんであるが、このような大形軸流ファンを全熔接構造にした例があまりないので、その機械的強度に関しては設計製作上入念な考慮がはらわれた。すなわち羽根断面形状は中空翼形とし、羽根とファンボスとの熔接部は熔接作業が容易で、かつ非破壊検査が可能なように特殊な設計になっている。材料は、熔接構造用鋼板で、超音波探傷試験を行った上内部欠陥のないものを使用した。完成後の熔接部の検査は表面は磁粉探傷、内部はX線と超音波探傷の併用により完全に施行された。さらに羽根部は固有振動数を測定し、運転中のあらゆる外力に対し共振現象を起さぬことを確認した。

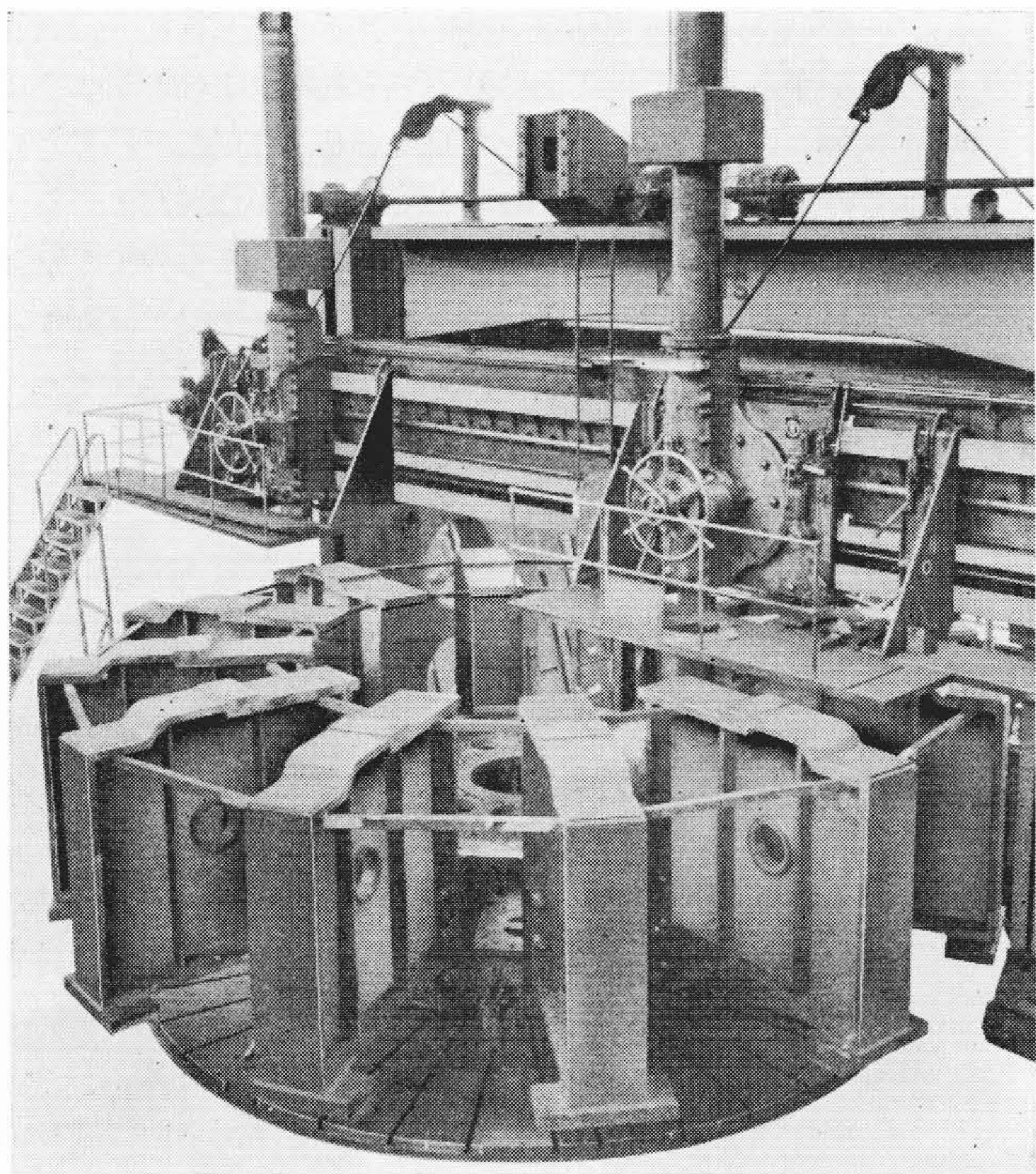
なおファンガイドは固定子線輪に近接するため非磁性鋼が使用されている。

第6図は組立中の回転子である。

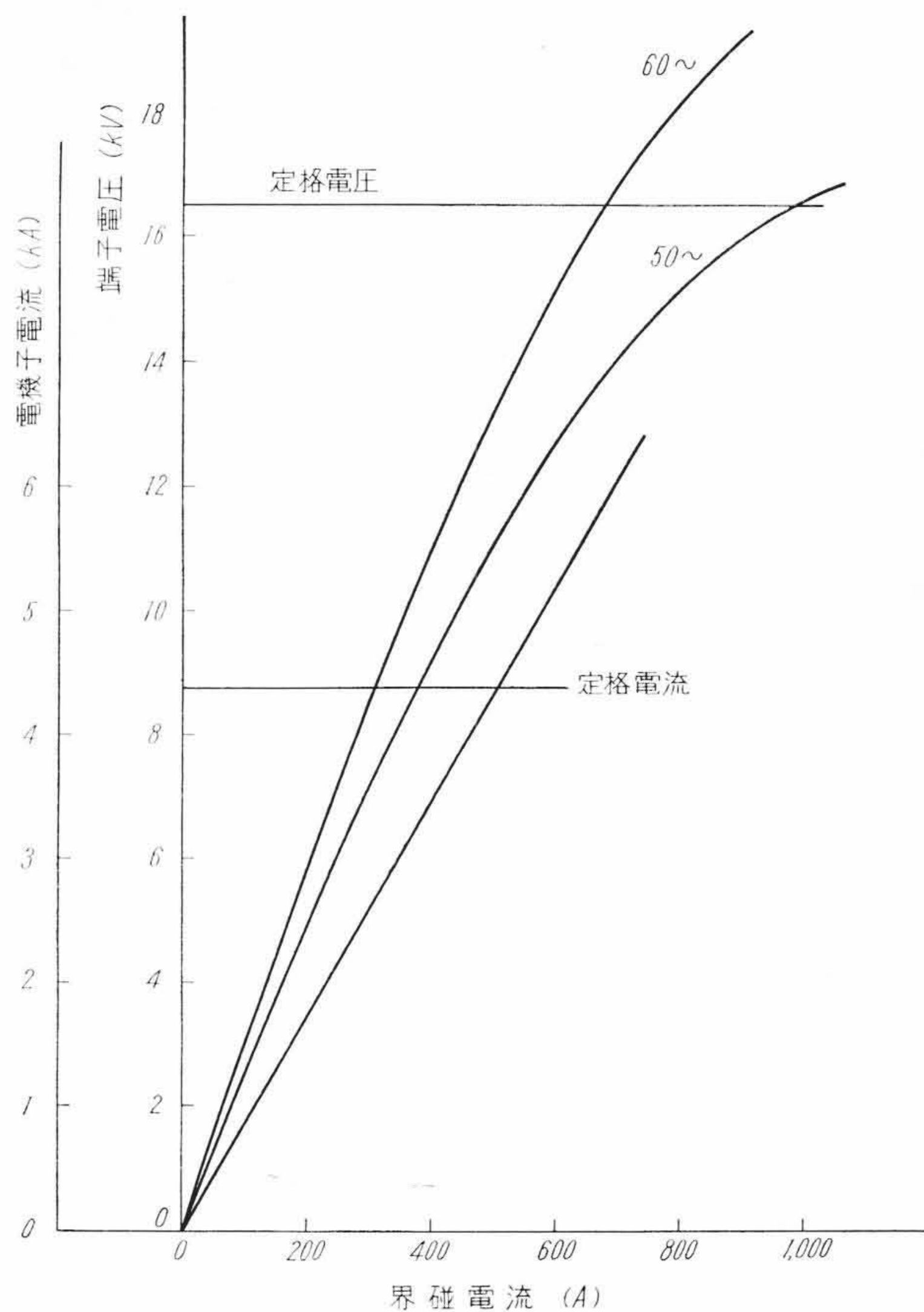
3.3 その他

上部ブラケットは固定子上部に設置され、全推力荷重を支持するもので、かつ上部案内軸受にかかる半径方向荷重もささえるため、強固なものとなっている。輸送上ボスとアームに分割される。第7図は上部ブラケットである。推力軸受および上部案内軸受は同一油槽内に設置されるが、油槽は一体物で上部ブラケット内に入り込む構造で、荷重はすべてブラケットにかかり、油槽にはかかる設計となっている。推力軸受はキングベリー形であるが全推力約1060 tを支持するものであるため、潤滑面における変形が油膜に影響を及ぼさぬよう十分剛性をもたせるとともに、油膜形成が容易な形状をとっている。シューは鋳鋼製で白色合金の裏張りがあり12セグメントであり、ランナーは一体の鍛鋼製でしゅう動面は綿密な注意のもとに研磨仕上げされている。

また軸受の水平調整は油槽外部より簡単に行えるようにしてあるとともに、推力軸受部の温度計用素子などもすべて油槽外部より着脱可能な構造とした。上部および下部案内軸受はいずれもセグメント型である。油槽より



第7図 上部ブラケット



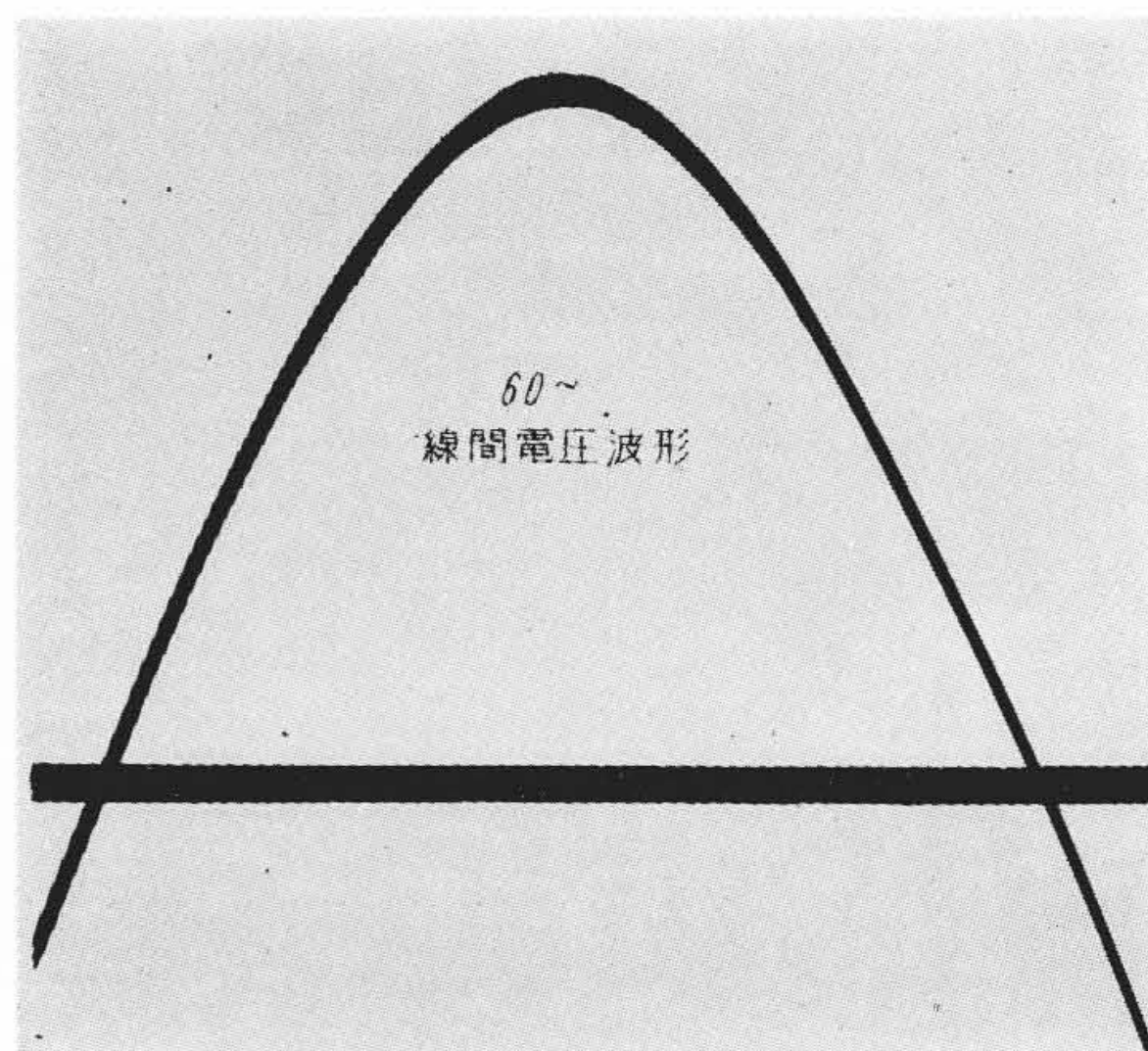
第8図 無負荷飽和曲線および三相短絡曲線

の油漏れに関しては、カバー類の合わせ目には耐油性ゴムパッキングをそう入するとともに、油蒸気による漏れに対してはファン圧の空気押込ラビリンス式パッキングを取付けて皆無を期している。

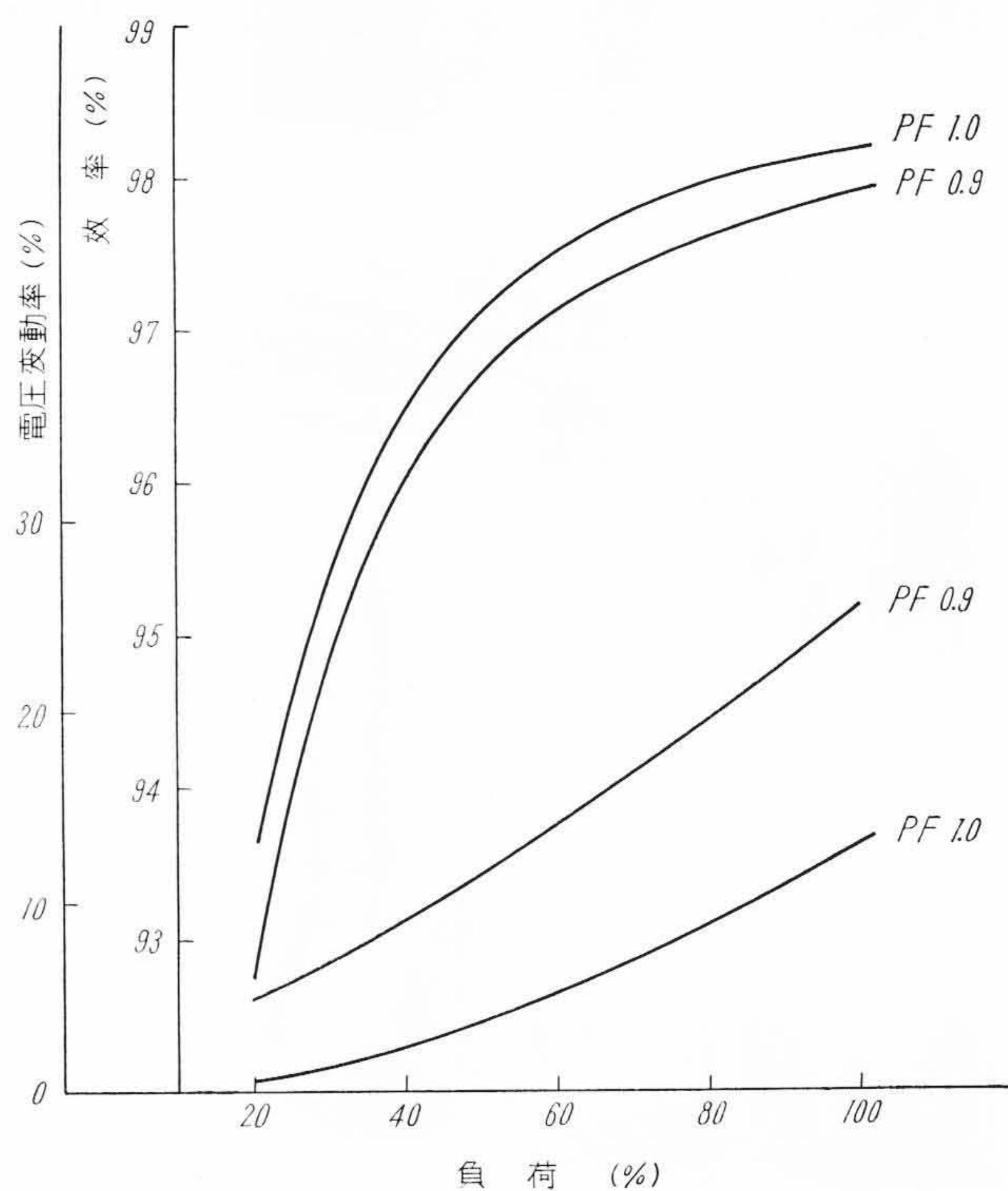
空気冷却器は対称12個を固定子の風の出口に直接取付けてある。風道内の除湿には電気除湿器を設置した。

4. 励磁機

主励磁機は出力 600 kW, 定格電圧 440 V, 副励磁機は出力 55 kW,



第9図 電圧波形



第10図 効率および電圧変動率曲線

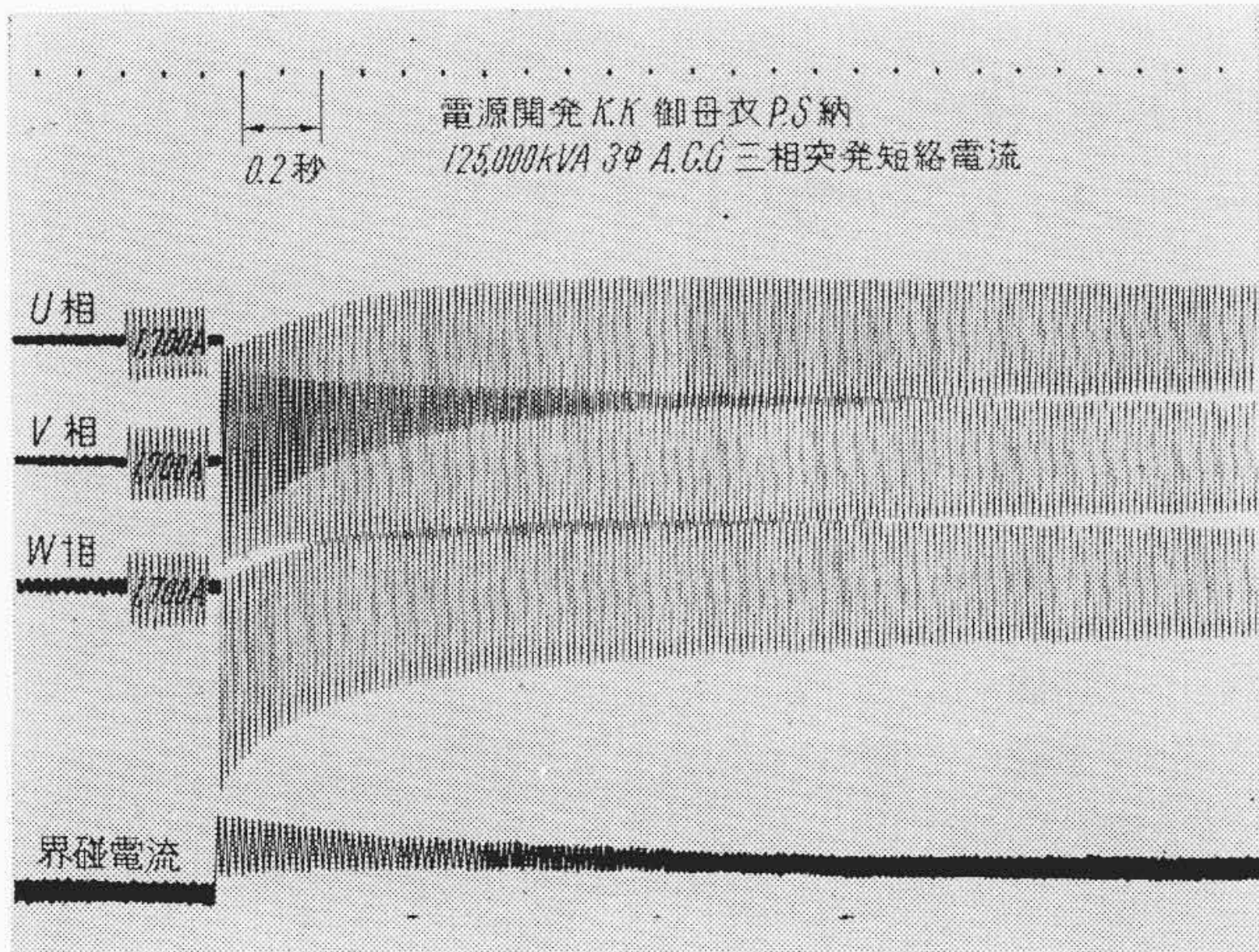
定格電圧 110V でいずれも 50 $\sim$ 運転可能のものである。発電機上部に直結され密閉風道内に設置されて、発電機本体の冷却風を取り冷却され、吐気側通風ダクトにはカーボン粉を除去するため空気ろ過器が取付けられ、またこの風道内には点検に便なるよう通路が設けられている。调速機用発電機は副励磁機上に直結されている。

励磁方式は、回転増幅形の自動電圧調整装置と組合わせて使用する急速励磁方式で、主励磁機には2組の界磁を備え、主発電機の無負荷定格電圧に相当する一定分を、定電圧の副励磁機により励磁し、主発電機の負荷変化に対応する調整分を電力増幅用直流発電機によって励磁することにより、主発電機の電圧を一定に保持するものである。電力増幅用直流発電機の励磁入力、一定基準電圧と主発電機電圧との偏差を磁気増幅器により増幅して与えられる。

5. 試験成績

工場において組立ての上、種々試験が行われたが、その概略は次のとおりである。

無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を第8図に、無負荷電圧波形



第 11 図 三相突発短絡試験オシログラム

を第 9 図に示す。短絡比は 60 $\sim$ で 1.35, 50 $\sim$ で 1.94 であり, 60 $\sim$ 時の線路充電容量は 90% 電圧時 114,000 kVA となる。波形ひずみ率は 0.64% である。

効率および電圧変動率曲線を第 10 図に, 温度上昇およびリアクタンスなどを第 1, 2 表に示す。第 11 図は三相突発短絡試験のオシログラムである。以上通常の試験のほかに, 130% の過速度試験, 48 時間の厳密な油漏れ試験および冷却水断水時の温度上昇試験が行われたが, いずれも異常のないことが確認された。

6. 結 言

以上日立製作所において製作された記録的大容量機である電源開発株式会社納御母衣発電所用 125,000 kVA 交流発電機の概要を述べた。そのおもなるものは固定子線輪に一回巻きを採用し, 定格電

第 1 表 全負荷時の推定温度上昇
(ただし軸受は工場試験値)

					温 度 上 昇 (°C)
固 定 子 巻 線					56.9
界 磁 ス ラ ス ト 軸 受					46.8
上 部 案 内 軸 受					31.3
下 部 案 内 軸 受					23.8
					15.8

第 2 表 各種リアクタンス測定値

		測 定 値
直 軸 同 期 リ ア ク タ ン ス	X_d	74.4%
直 軸 過 渡 リ ア ク タ ン ス	X_d'	29.0% (不飽和値)
直 軸 初 期 過 渡 リ ア ク タ ン ス	X_d''	21.5%
横 軸 同 期 リ ア ク タ ン ス	X_q	51.5%
横 軸 初 期 過 渡 リ ア ク タ ン ス	X_q''	23.3%
逆 相 リ ア ク タ ン ス		22.5%
零 相 リ ア ク タ ン ス		13.8%
界 磁 開 路 時 定 数		7.2 sec
短 絡 過 渡 時 定 数		2.56 sec
短 絡 初 期 過 渡 時 定 数		0.045 sec

圧 16,500 V に対し新しいコロナ防止対策を施したこと, 回転子主軸を輻鉄の上下に分割する方式としたこと, 地下発電所に設置されるため防音, 防熱構造としたことなどである。

工場において 130% の過速度試験を含めた詳細な試験が実施されたが, いずれも優秀な成績をおさめることができた。現地における据付作業も着々と進捗しつつあり, 日本の記録的製品として, また主要な動力源としてその運転開始に大きな関心と期待が持たれていることは誠に喜ばしい。

終りに本機の製作に当り熱心なご指導を賜った電源開発株式会社の関係者各位に深甚な謝意を表する。



実用新案 第 504157 号

新 案 の 紹 介



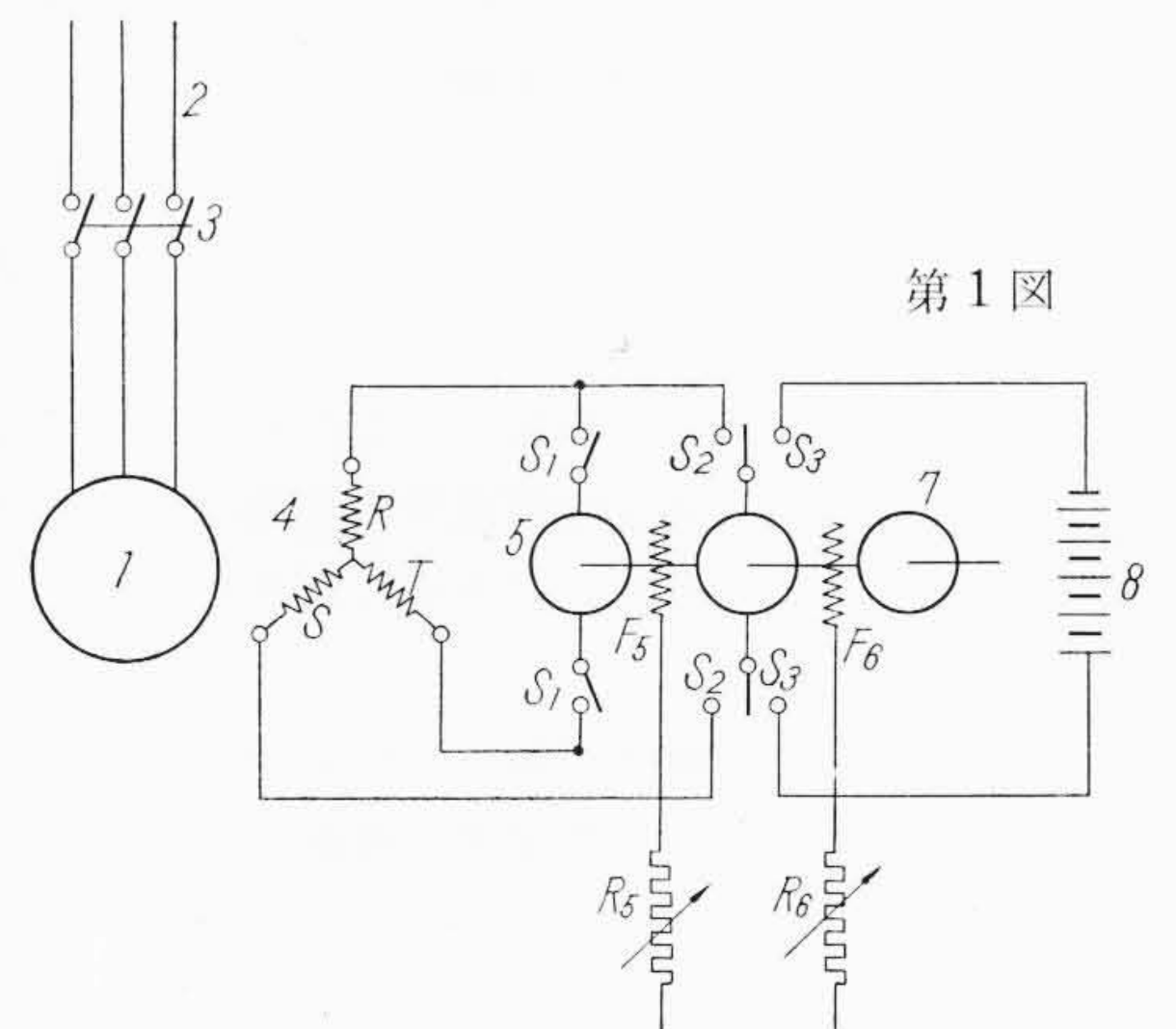
桜 井 泰 男

誘 導 同 期 電 動 機 相 差 角 調 整 装 置

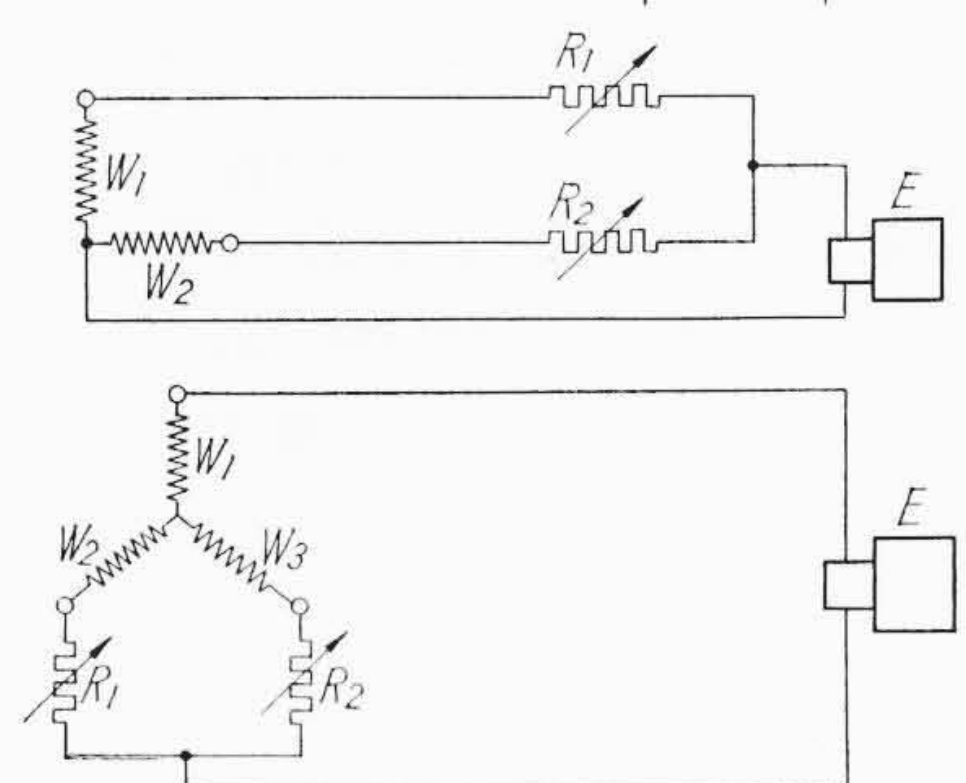
誘導起動同期電動機によって同期調相機が運転される場合には誘導同期電動機の直流励磁極軸の位相調整を行わねばならない。従来このために第 2 図のような結線がなされ, 電動機の誘導起動兼直流励磁二次巻線 W_1, W_2, W_3 の任意の二相 W_2, W_3 に励磁電流調整抵抗器 R_1, R_2 を接続し直流電源 E に接続した上で R_1, R_2 の調整によって目的を達するのであった。ところが今日電動機容量が著しく増大して励磁電流が 1,000 A にも及ぶようになっては, 電動機の運転中に上記極軸の位相角調整を行うことは従来のような方法ではもはや至難となったのである。

この考案は励磁電流調整抵抗器 R_1, R_2 と電源 E の代りに 2 台の励磁機を用い, その励磁度を加減抵抗によって調整することにより大電流をも容易に所望に応じ精密に調整しもって大容量機の直流励磁極軸の加減, 推移を自由に行い, これによって位相角の調整を任意に行いうるようにしたものである。第 1 図において 1 は同期調相機を運転するための誘導起動同期電動機, 2 は交流電源, 3 は開閉器, 4 は誘導起動兼直流励磁二次巻線, 5 および 6 は励磁機, 7 は駆動用電動機, 8 は補助電源, F_5 および F_6 は励磁機の界磁巻線, R_5 および R_6 は励磁度加減抵抗でこれは小容量で事が足りる。 $S_1 \sim S_3$ は開閉器である。 S_1 および S_2 を閉じ (S_3 は開く) て R_5, R_6 を調整することによって目的を達するが, 電源の停電時に電動機を停止せしめんとするに際しては 7 が駆動力を失って不都合であるが S_2 を S_3 に切り替えて 8 により 6 を直流電動機として駆動し, 5 の発電励磁により R, T 相を利用して発電制動効果をきかせることができるので, 停電にかかわらず発電制動をとどこおりなく発揮せしめうる実益がある。

(宮 崎)



第 1 図



第 2 図