

関西電力株式会社 納

丸山発電所用 72,500kVA 交流発電機

高木 正* 菊地 彌十郎**

The 72,500 kVA Alternator for the Maruyama Power Station,
Kansai Electric Power Company

By Tadasu Takagi and Yajurō Kikuchi

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The 72,500 kVA A.C. generator completed this time at Hitachi for the Maruyama Power Station deserves special mention not only for its largest capacity ever built in one unit in Japan but for its novel umbrella type construction.

This generator reflecting inexhaustible ingenuity of Hitachi's engineers incorporates several improvements which have placed the machine in almost new category of the umbrella type as compared with predecessor products in the same type manufactured by the Company in these several years.

In the factory test, the alternator proved to have excellent characteristics in the stability and freedom from vibration in connection to the umbrella type construction, let alone in electric phase of performance. The accomplishment is such that anyone concerned is led to anticipate its major contribution in many phases to the electric resources development project which is currently proceeding.

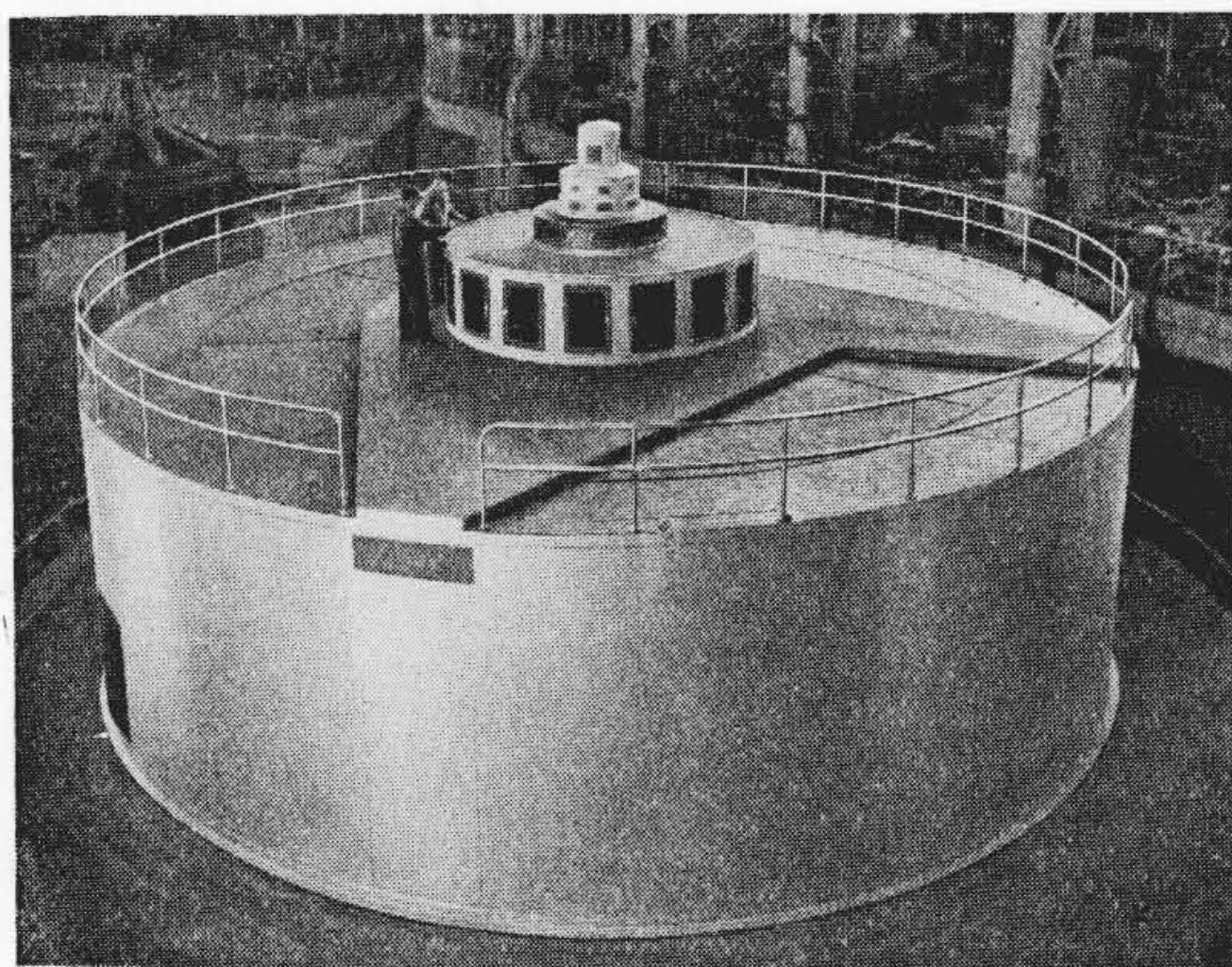
The writers detail in this article the principal features of this noteworthy generator.

〔I〕 緒 言

この度関西電力株式会社納丸山発電所用 72,500 kVA 交流発電機が日立製作所に於て完成した。本機はいうまでもなく日本最大容量の発電機であつて、東京芝浦電気と日立製作所で各々 1 台づゝ製作され、同一発電所内に設置されるものである。従つて外形は合わせてつくられたが、内部の構造に於てはそれぞれ特長を持った設計によつており、例えば日立が傘型であるのに対して東芝は上側にも案内軸受を持ついわゆる準傘型（半傘型）といわれる式である等、種々の面で異つてゐるようである。

本機は従来の実績から求めた傘型機の製作限界の一応

* ** 日立製作所日立工場



第1図 72,500 kVA 傘型発電機

Fig. 1. 72,500 kVA Umbrella Type Alternator

の目安の線⁽¹⁾を遙かに上廻るものであるが、北海道電力蘭越発電所に傘型機を製作して以来、数多くの製作経験より自信をもつて傘型を採用、新しい創案をとり入れ、工場試験に於て非常に良好な成績を収めたものであつて、この大きな実績は今後の電源開発に非常な貢献をなすものと考えられる。ここにこの日本の代表的製品の内容を紹介し参考に供する次第である。

〔II〕 発電機の仕様

発電機	…傘型閉鎖風道循環型空気冷却器付、凸極回転界磁式制動巻線付
出力	…72,500 kVA 連続定格
電圧	…13,200 V
電流	…3,170 A
周波数	…60 $\sim$
回転数	…164 r.p.m.
力率	…86%(遅れ)
短絡比	…1.6 以上
GD ²	…9,200 t-m ²
主励磁機	…600 kW, 250 V(他励磁式)
副励磁機	…30 kW, 110 V(複巻式)
调速機用発電機	…0.75 kVA, 110 V(永久磁石付)
尚発電機は周波数低下時 48 $\sim$ に於ても定格出力(定格力率に於て)を出しうるようになっている。	

〔III〕 発電機の構造

構造を示す発電機の断面は第2図の通りであつて、数多くの新案を採用した日立式傘型発電機である。以下本機の構造の主なる特長に就いて述べることにする。

(1) 固定子

固定子枠は溶接鋼板製であつて、固定子鉄心及び線輪を入れたまゝ送れるように四つ割とした。輸送限界一杯であるため、上部ブラケットを支える部分は支え台式の構造とし、鉄心部分の枠に取付ける構造とした。

鉄心は鉄損の低減をはかるため特に精選したT級の高級硅素鋼板を使用した。

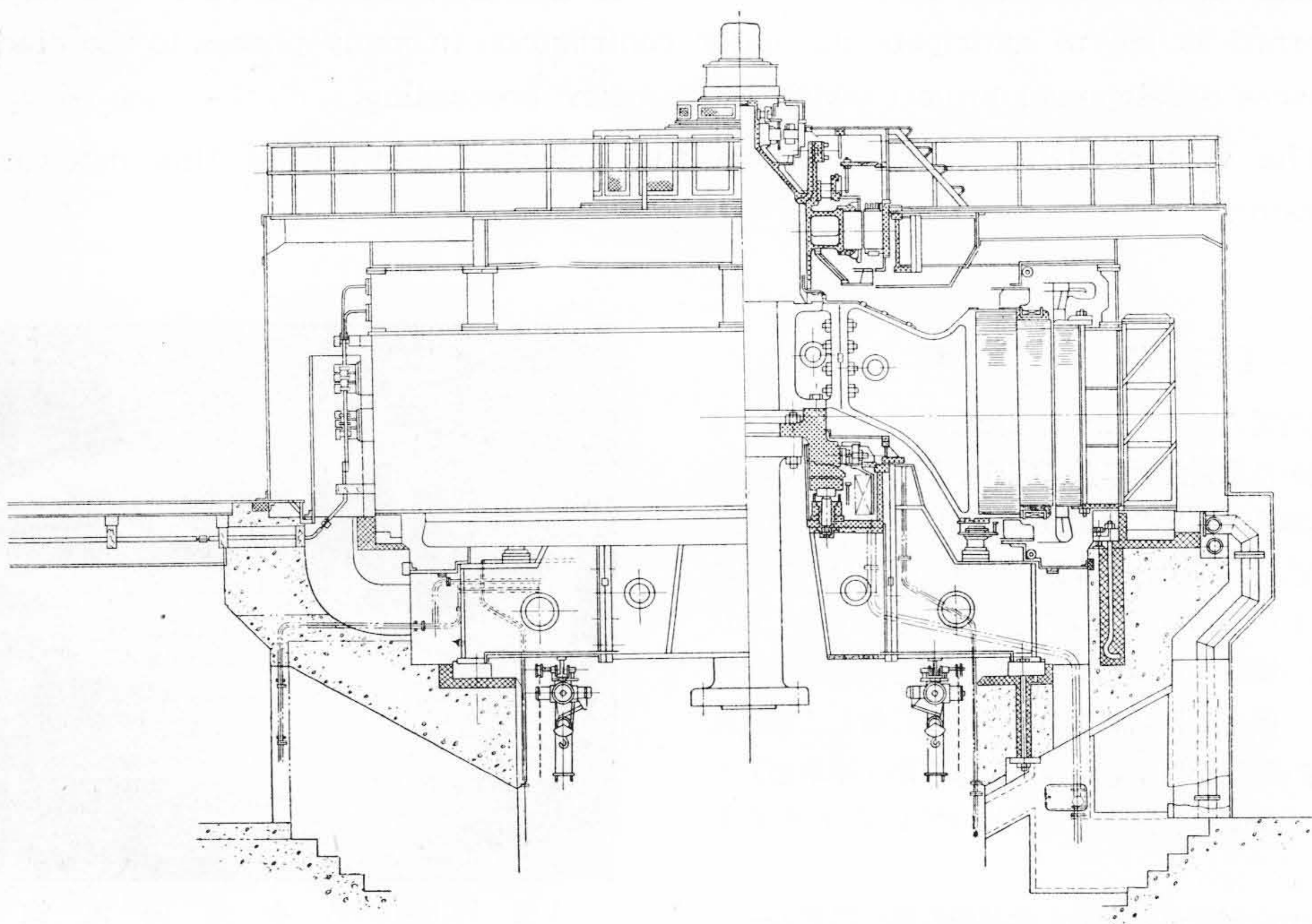
固定子線輪はマイカを主体としてB種絶縁で一回巻き(One turn)の亀甲型線輪(新案申請中)を二層重巻とした。従つて線輪には層間の絶縁がなく、サージ等による層間短絡の事故の心配が全然ない。又線輪導体は溝内で完全に転位を行い渦流損失を最小限に止め、これに平巻絶縁を行い、耐地間の絶縁に十分な強度を持たせた。

コロナ防止に対しては、溝内及び溝外で抵抗値を適当に変化させ、溝出口部分に於ける電位傾度を適当な値にとり、インパルス侵入に対しても有効なようにしてある。(新案 380345)

第3図は完成された固定子である。

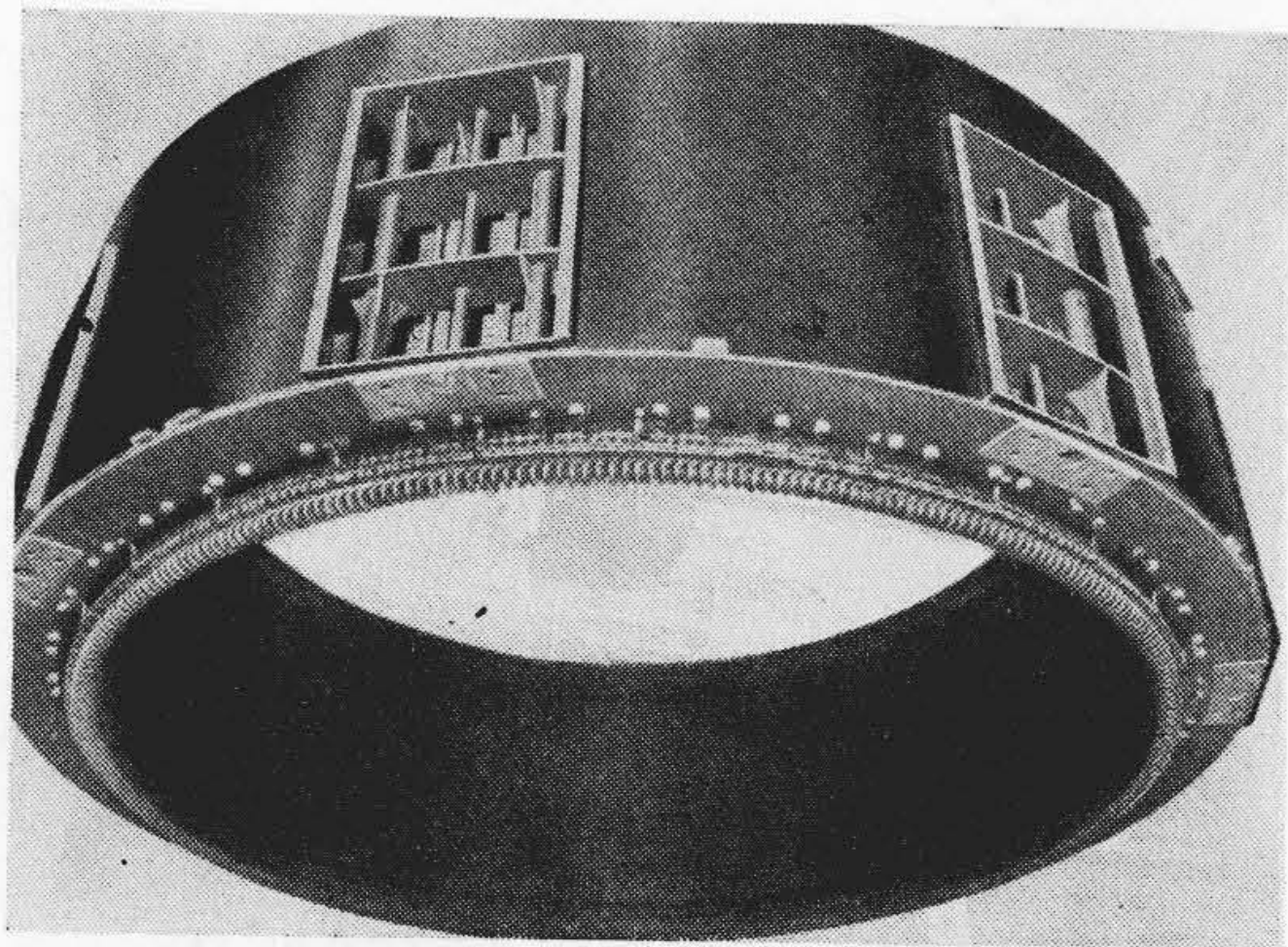
(2) 回転子

回転子の外径は7 m, GD² は保証値を遙かに上廻わり



第2図 発電機断面

Fig. 2. Section of Alternator



第3図 固定子

Fig. 3. Stator

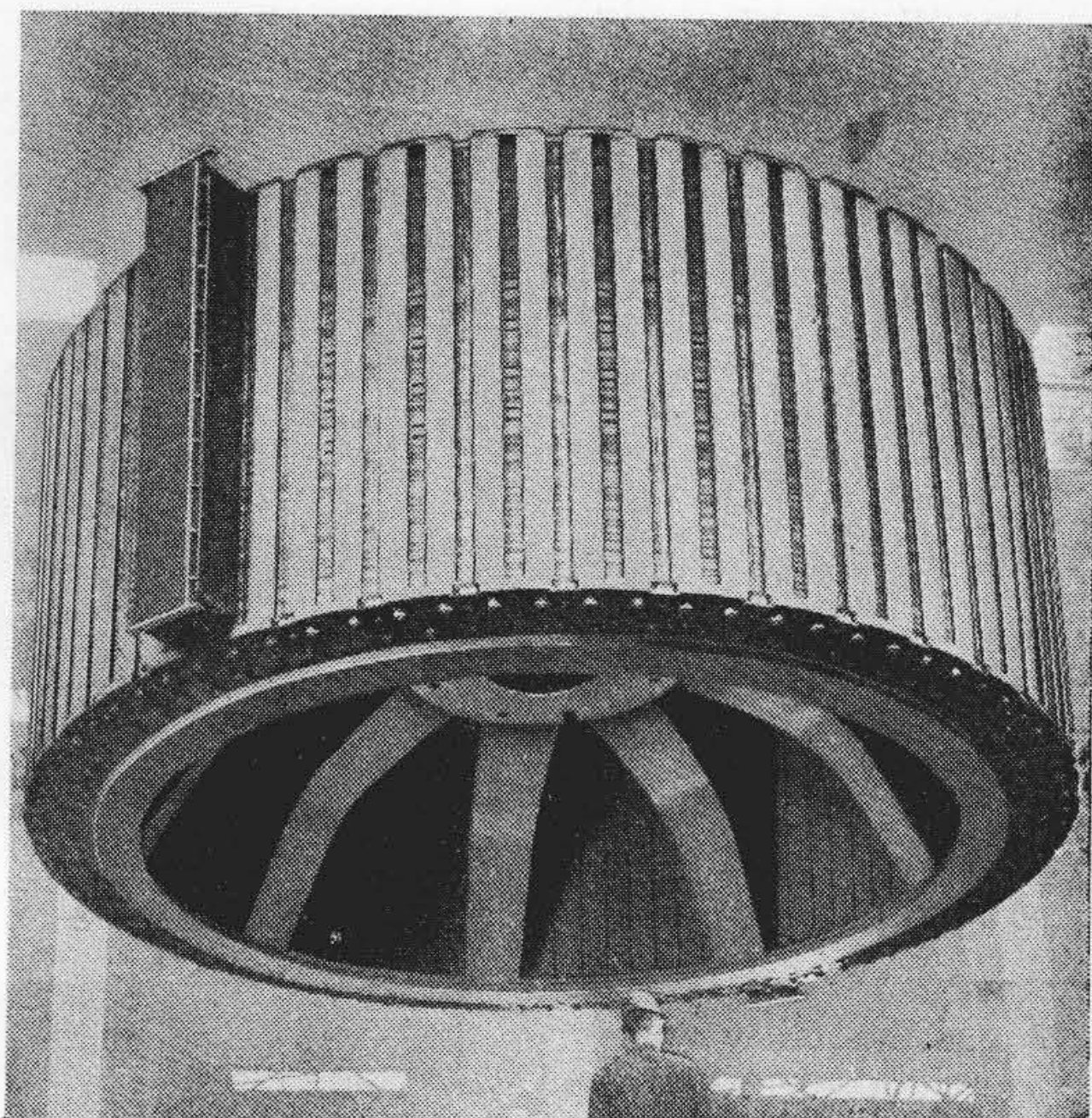
10,600 t-m² もある非常に大きなものであつて、これが無拘束速度の場合規定回転の181% 即ち 296.5 r.p.m. となり、周速に於て約 110 m/sec となる。従つて磁極等に非常に大きな遠心力が生じ、一步設計を誤れば重大な事故となる恐れがあり、過去に於る幾多の過速度試験或いは研究の成果に慎重な検討を加え、最小限の資材によつて最大の効果を挙げ、然も絶対に安全なものとした。

中でも継鉄は磁極の遠心力を受けると共に、自身の回転による応力に十分耐えねばならないため、強度上最も重要なものであつて、従来の大型機に用いられて来たと同様積層式継鉄であるが、一般に扇形鋼板を積層するとその合わせ目があるために有効断面積が減少する。磁極を支持する鳩尾溝は通常極数と同一数だけ設けるが本機は極数の倍とした。鋼板を積層する場合は鳩尾溝一箇分宛ずらして積むため鳩尾溝を倍にしておく軸方向断面における合せ目の数は半減することになりそれだけ有効断面積は増加する。かくすることによつて遊びの鳩尾溝が一つおきに出来るが遊びの鳩尾部には梯形の楔を入れることによつて、継鉄自体の剛性を増すようにしてある。又扇形片の端を切つたものを回転子の中央部附近に入れて積み、最も冷却風の供給の困難な中央部へ、容易に空気を入れることが出来る通風孔を設けた。(新案374078) 第4図は組立られた通風孔のある継鉄であり、第5図は工場で完成した回転子である。

シャフトは起重機の容量の低減及び組立の容易のため第2図に示す如くシャフトカラーを介して回転子本体と組合わされる構造のものとした。(新案 401955) この構造は後述の如く、日立式傘型機の推力軸受と組合わされることによつて、分解、組立或は又保守の点から非常に妙味を発揮したものである。

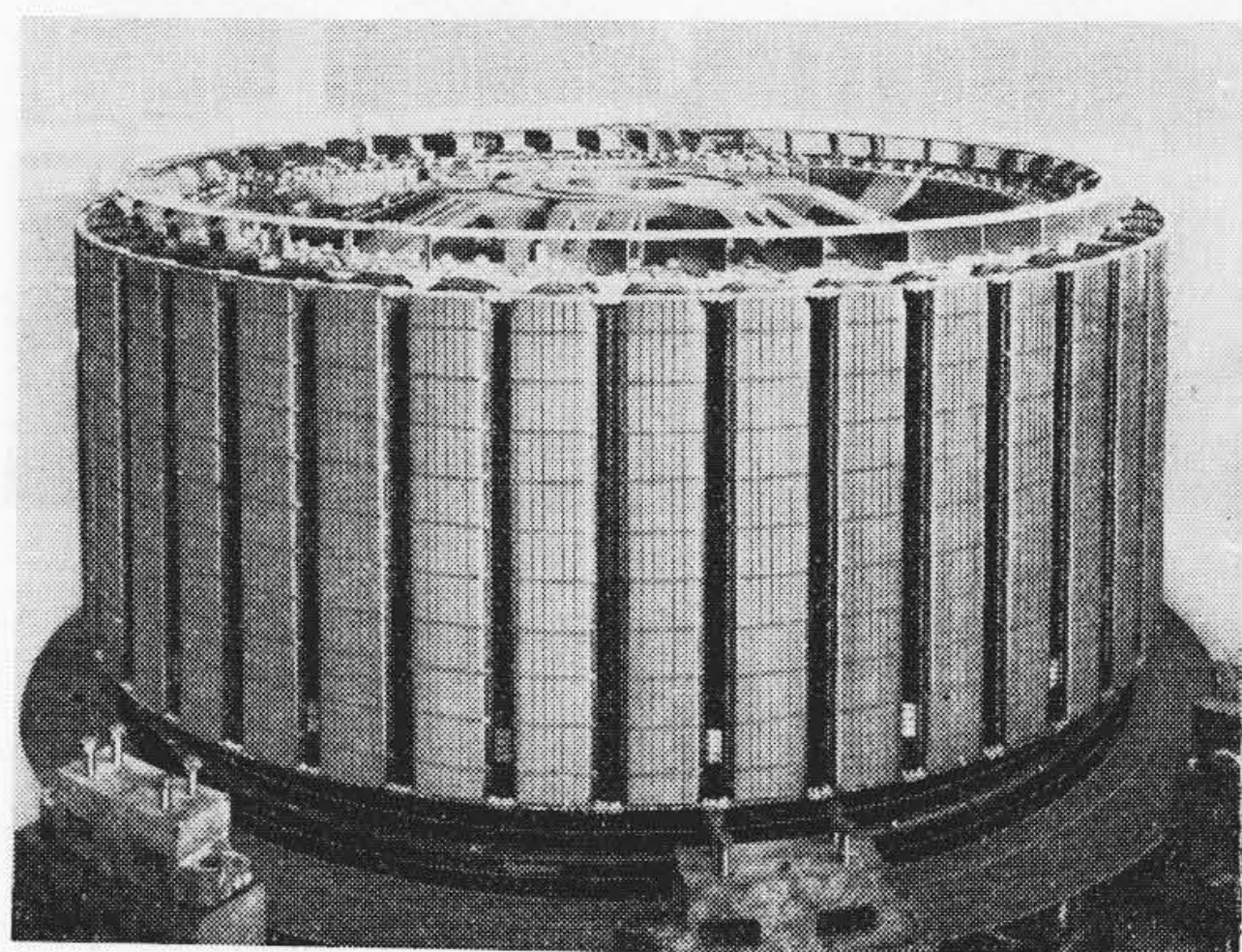
(3) その他

傘型であるために上部ブラケットは単に励磁機の固定部分を支持するに過ぎず、非常に簡単な熔接鋼板製の構



第4図 積層式継鉄

Fig. 4. Assembly of Segment Yoke



第5図 回転子

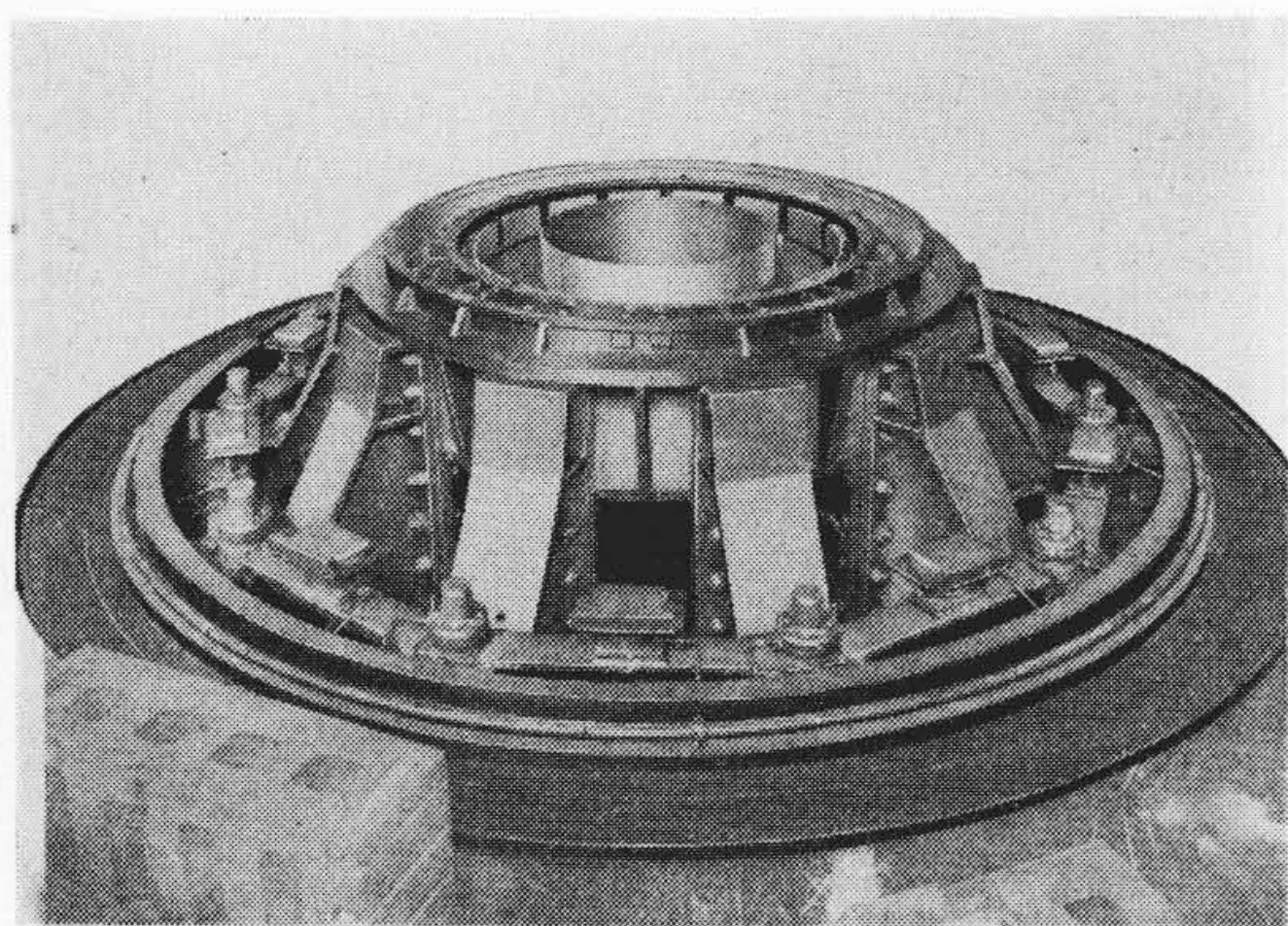
Fig. 5. Rotor

造で、振動等の心配のないだけの強度が持たせてある。

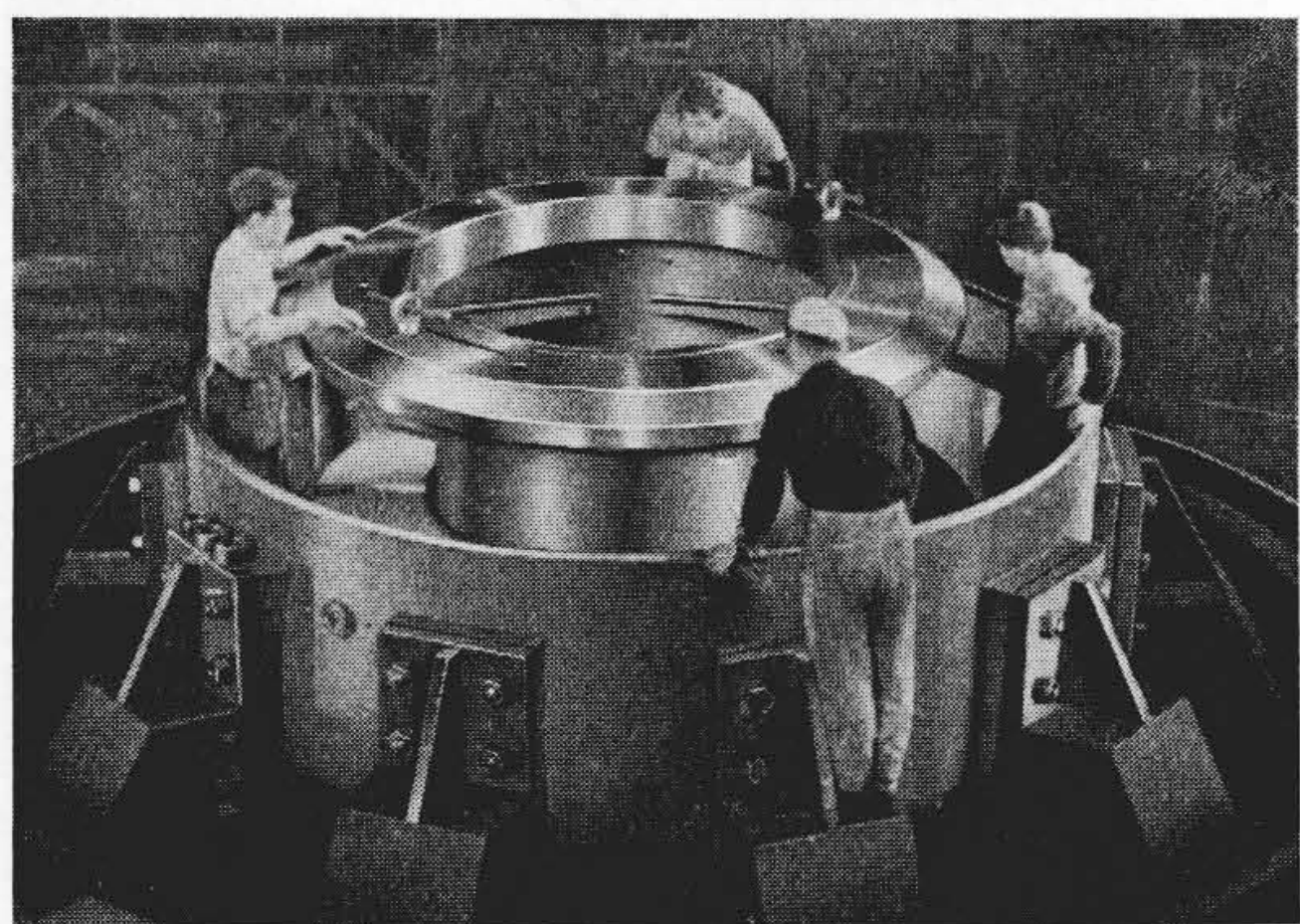
下部ブラケットは推力軸受を支持し、非常に大きい推力を受けるが、殆ど変形を起さない堅牢な構造としたもので、大型のため輸送上の制限を受け、推力軸受油槽とこれを支持する台とアームとを組合せて一体としたものである。

特に推力軸受油槽は回転子の機械的及び電氣的不平衡力を案内軸受を通して支持するものであるから、非常に強固なものとされている。尚この油槽は油洩れ等の心配のないものにするため、輸送限界一杯の合せ目のない一体のものとした。

推力軸受及び案内軸受は回転子の下の空間を極力有効に利用し、第2図に示す如く回転子の重心の近くに置くようにした。これらの構造は従来の日立式傘型機のものと同大した変りはない。日立式セグメント案内軸受に就いては既に度々紹介されている⁽²⁾ので省略し、推力軸受



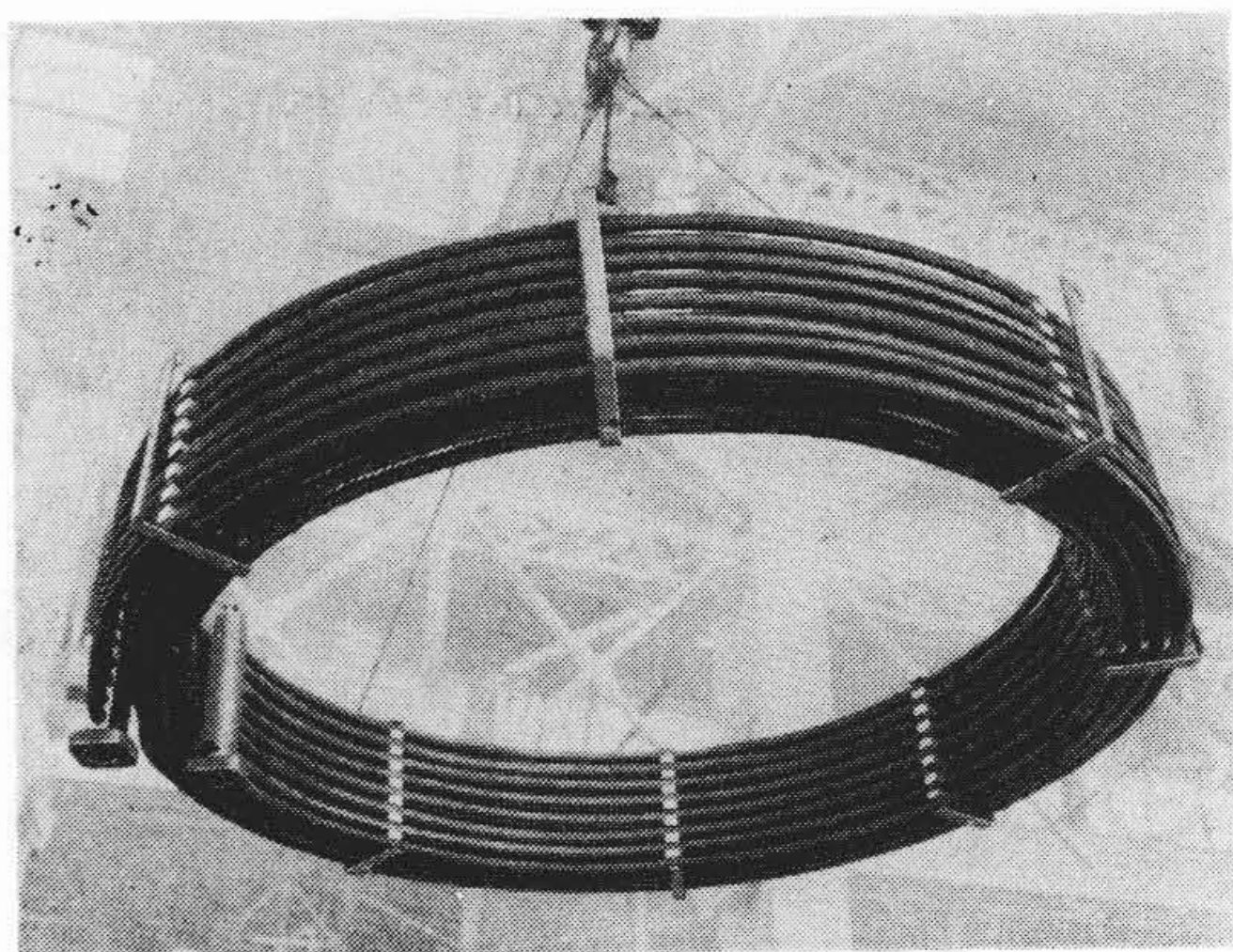
第6図 軸受及び下部ブラケット
Fig. 6. Bearing and Lower Bracket



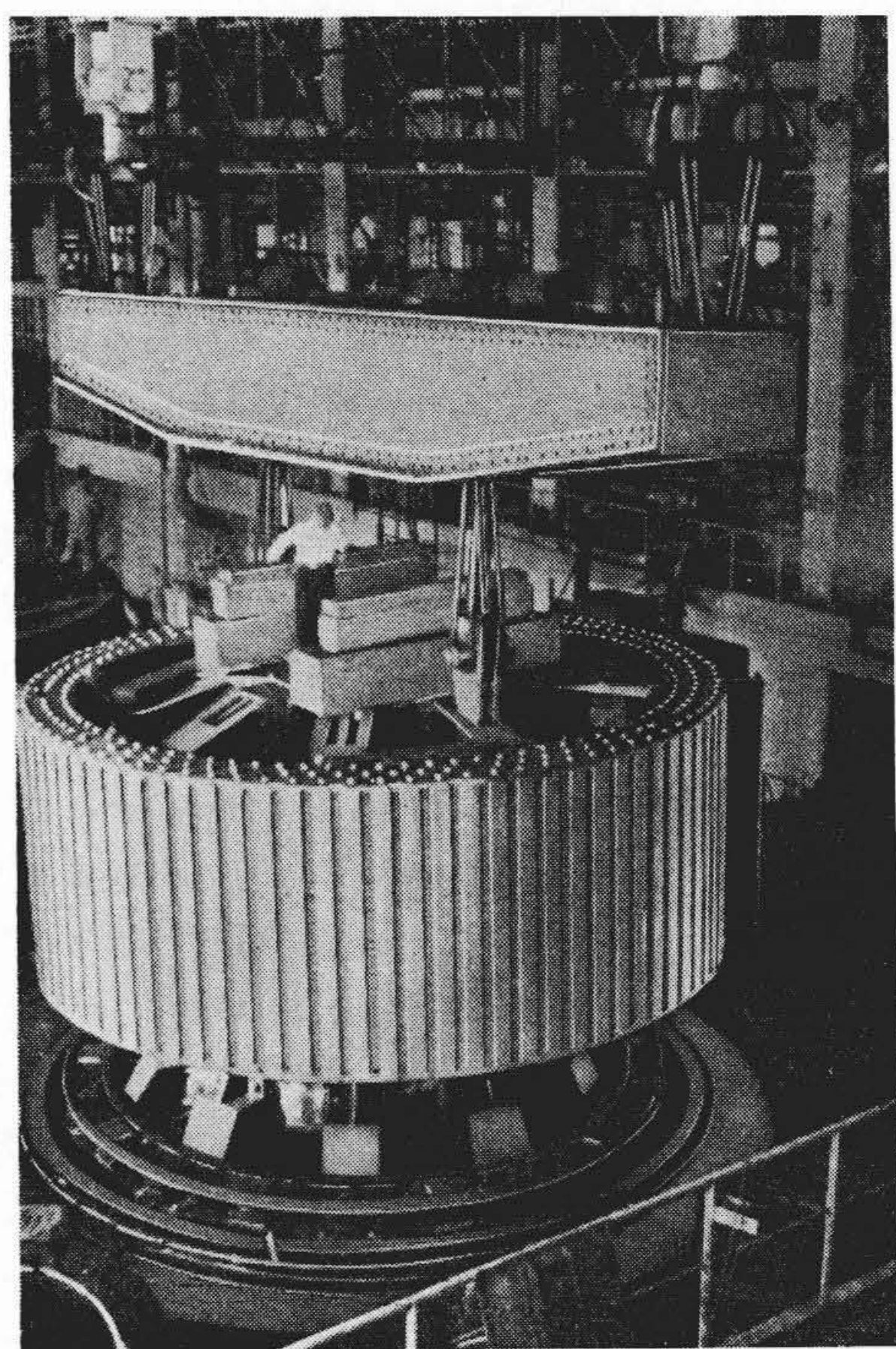
第7図 ベヤリングランナ挿入
Fig. 7. Setting of Bearing Runner

に就いて見ると軸受を分解することなく、シャフトをつけたまま回転子を引抜き得ること（新案 393066）、軸受の調整が外部から出来ること、この部分以外に軸受油槽には合わせ目等なく完全なタンクとなつているため油洩れの心配が絶対でないこと、分解等に対する取扱が容易であること等の多くの長所を持つている⁽³⁾が、本機に於てはシャフトカラーを介してシャフトと回転子本体とを取付ける新らしい方式を採用した（新案 401955）。この構造である場合は推力軸受及びシャフトカラー以下の回転部分を先に組立て、水車を直結して軸の振れ及び水平の調整（キングス調整）を行い、これが完全になつてから発電機回転子本体をその上に嵌合面を案内として入れ、ばよいため、据付、組立の工程が非常に短縮され、然も作業が従来のものに比し遙かに容易であり、起重機は回転子本体のみを吊り得る容量で済み、これに要する設備費の低減となる等多くの利点を持つた構造のものである。

これらの作業の順序は第7図～第9図に示す通りであつて、先づ下部ブラケットが据付けられ、推力軸受の静止部が所定の位置に取付けられ、次いでベヤリングランナが入れられ（第7図）、更に冷却管が入つて（第8図）推力軸受の組立が終わる。それからシャフトカラーをつ



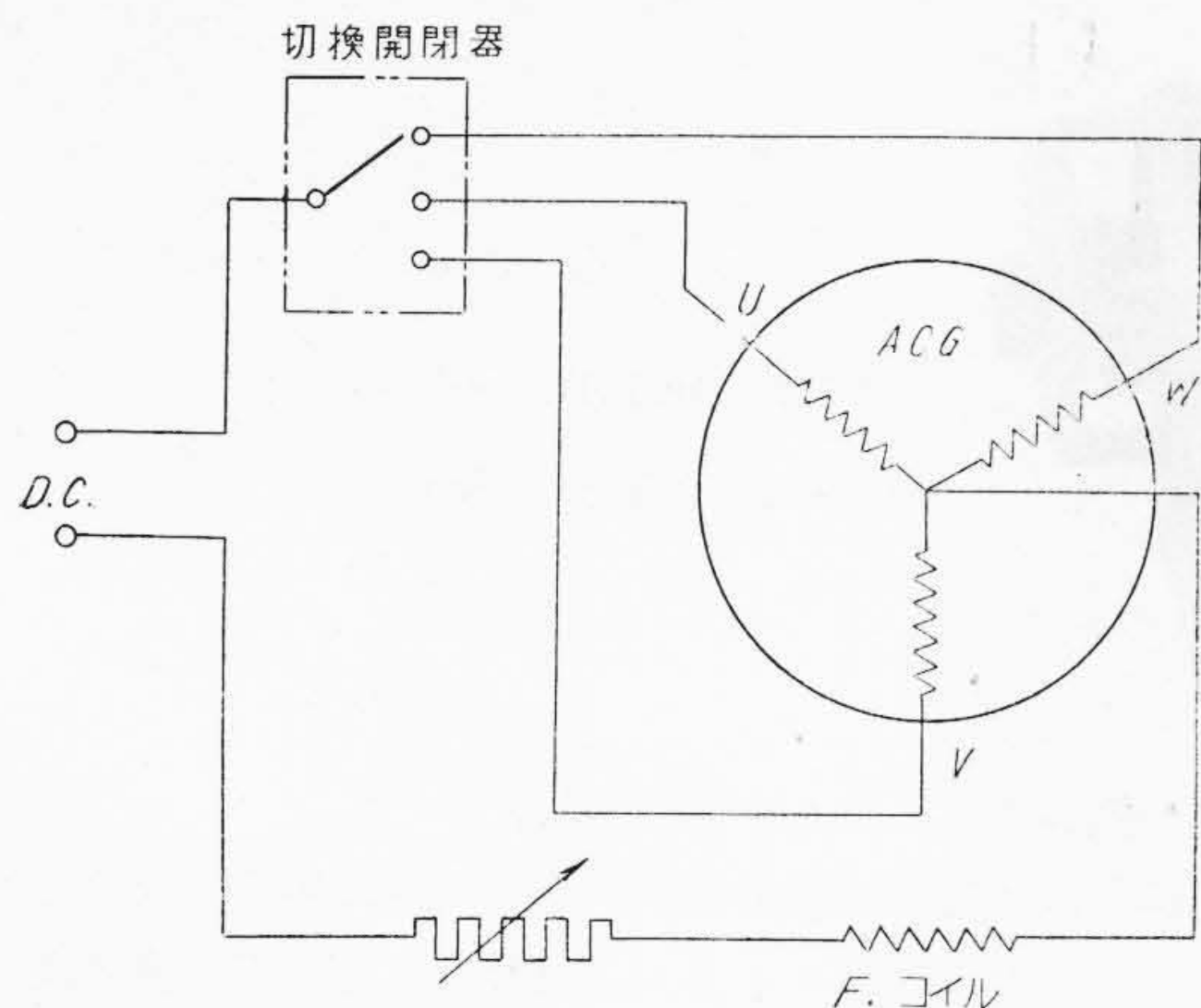
第8図 冷却器搬入
Fig. 8. Setting of Cooling Pipe



第9図 回転子取付 Fig. 9. Setting of Rotor

けたシャフトが挿入される。その周辺にセグメントの案内軸受を取付け、調整ボルトによつて適当な軸受隙間にセットする。これで軸受の組立は終りであつて、水平及び軸の振れを調整し、次いで回転子本体をシャフトカラーの嵌合部に合わせてのせ（第9図）、スパイダーとカラーをボルトで結合すれば、回転部は完成したことになる。傘型であるため上部に案内軸受がなく、固定子とは無関係にこの作業が行える利点がある。

又完全に組立てられた回転子の軸の振れを最後に再調査する場合従来の人力或は歯車乃至ロープを使用した回転装置を用いず、取扱いの簡便な新らしい方法を用いた。



第10図 回転装置回路

Fig. 10. Connection Diagram of Rotating Device

即ち直流電源を用い特殊の切換開閉器によつて三相に切換え第10図の如き回路で電機子に給電すると同時に界磁線輪を適当な強さに励磁することによつて、発電機を一種の電動機として回転せしめる方法である（特許申請中）。

ブレーキから発生する粉の飛散防止或は注水式消火装置に就いては既に度々紹介されて来た日立独特の方式⁽⁴⁾が用いられている（新案 374079, 377487）。

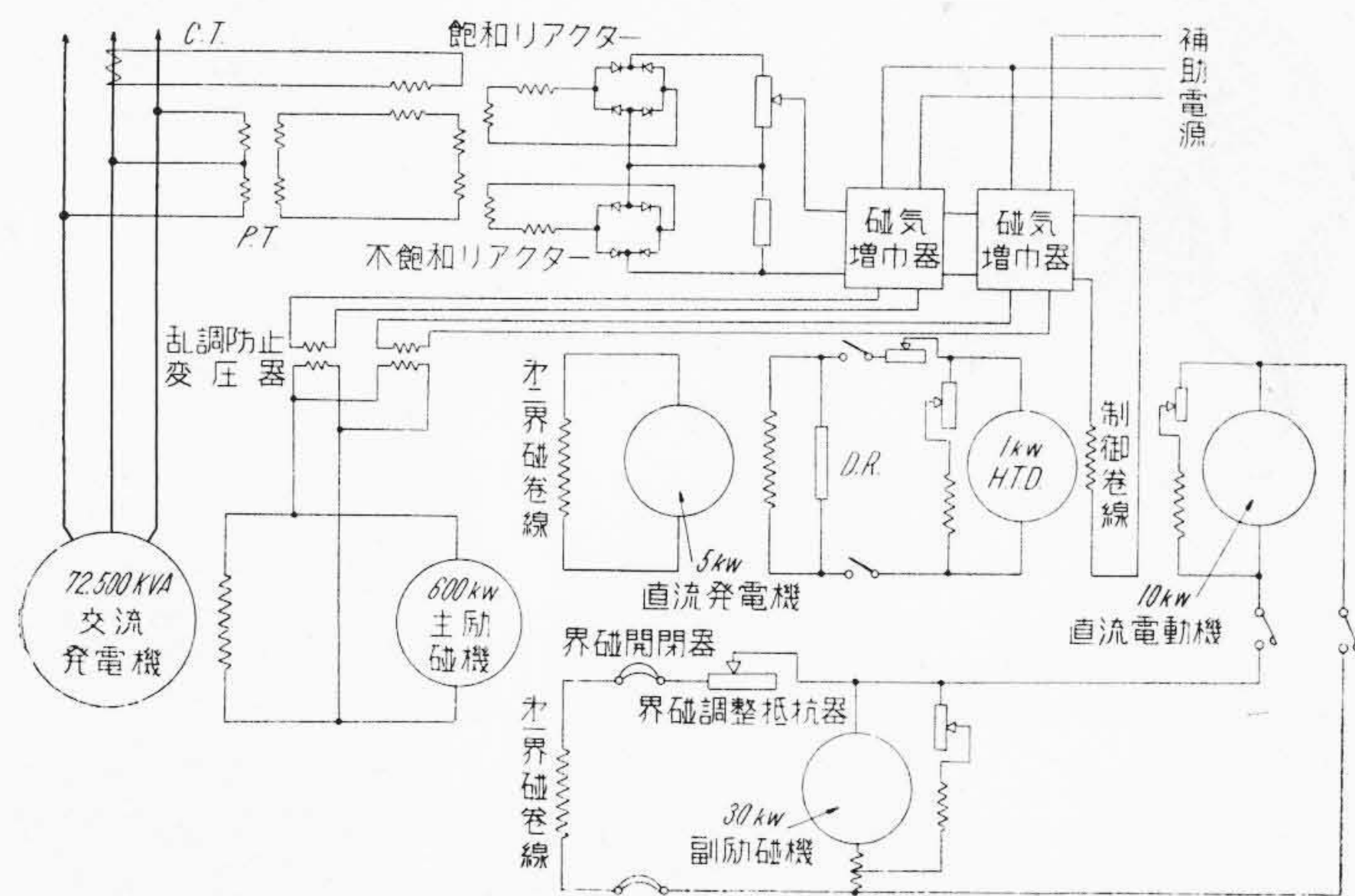
空気冷却器は対称8箇所を固定子からの風の出口に直接取付け、発電機運転中にも随時点検出来る構造とし、内部の点検等のため風道内部には螢光灯が点灯されるようにしてある。又運転休止時巻線に露が附着するのを防ぐためスペースヒータを固定子下部に取付けるようにした。又風道は内外の空気が流通しないよう十分密閉したものとし且つ外観の美をそこなないようにした。第1図は工場で組立られた発電機の外観を示す。

〔IV〕 励磁機

構造は第2図に示すように主発電機軸上に直結し、滑動環は点検に便なるよう主、副励磁機の間間に設け、そのボスの内側に副励磁機の継鉄の一部を入れ、全体の高さを極力切りつめてある。主副励磁機共自己ファンにより冷却する。

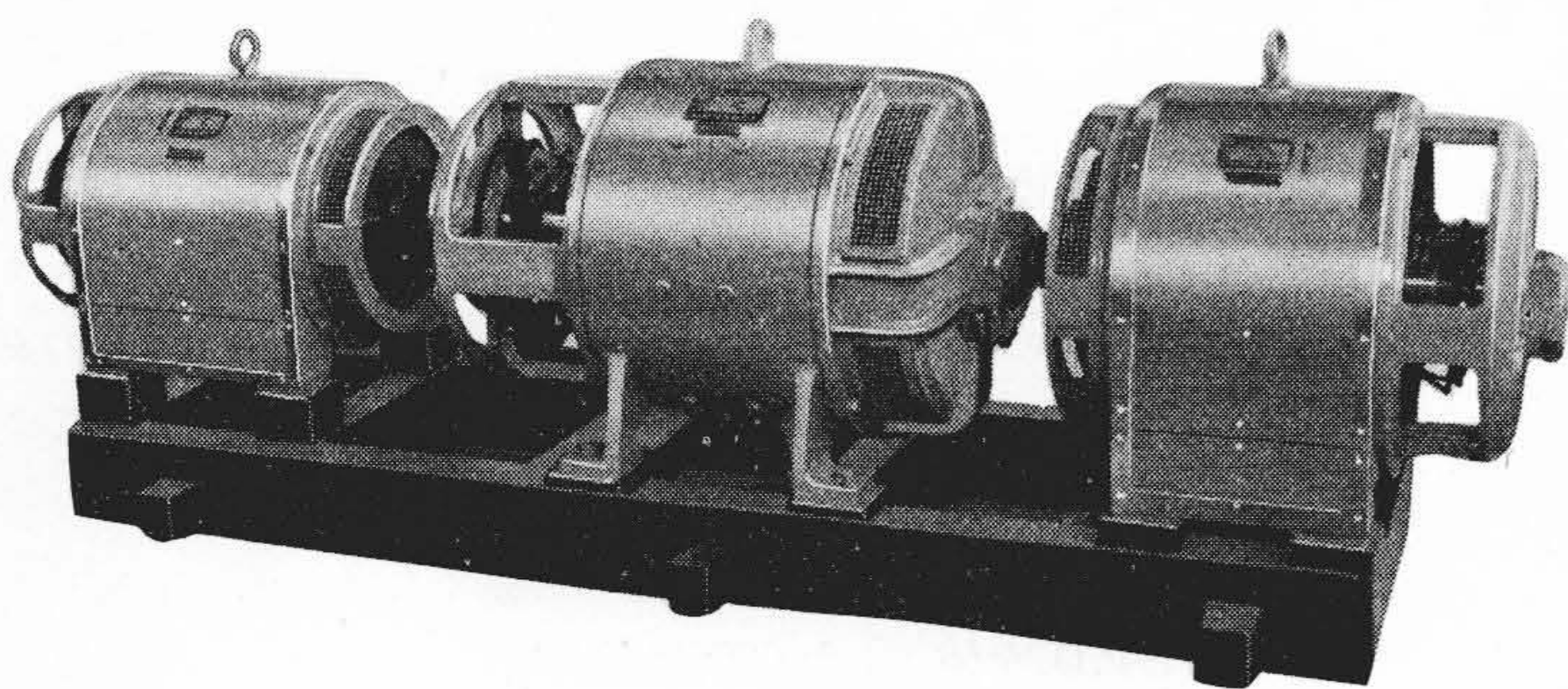
本機の電圧調整は、増幅率の極めて高い磁気増幅器と H.T.D. を使用した自動電圧調整器により行い、その概略結線図を第11図に示す。即ち主励磁機は二界磁に備え、第一界磁は主発電機が無負荷時に定格電圧を発生せしめる如く副励磁機により励磁され、第二界磁は 5 kW H.T.D. 型直流発電機により励磁される。主発電機電圧の検出回路は飽和リアクトル L_s と不飽和リアクトル L_N より成り、両リアクトルの電圧電流特性は、主発電機の定格電圧値で交叉するようにしてあり、両方の電流差に比例する値を磁気増幅器と H.T.D. により増幅し、H.T.D. の出力で 5 kW 直流発電機の界磁を励磁する。従つて主発電機電圧が整定値を外れると 5 kW 直流発電機により主励磁機の第二界磁を第一界磁に対して和動或いは差動的に励磁させて、発電機電圧に急速に整定値に復帰させる。電圧調整の速応度を上げるため自動電圧調整器及び主励磁機界磁の時定数は極めて小さく設計してあり、主励磁機の電圧上昇率は 680 V/sec, 頂上電圧は 600 V 以上、又 A.I.E.E. による公称励磁機速応度 (Nominal Exciter Response) は 2.0 以上である。

主励磁機は 48 回転時に於ても主発電機に定格電圧、定格出力を発生せしめるに十分な出力を有するものである。副励磁機は周波数低下による電圧低下を極力少くするように設計してあるから、48 回転の場合にも副励磁機の電圧調整或いは主励磁機の第一界磁の励磁を調整する必要はなく前記自動電圧調整機により主発電機電圧



第11図 自動電圧調整装置結線図

Fig. 11. Connection Diagram of Automatic Voltage Regulating System



第 12 図 H.T.D. セット

Fig. 12. H.T.D. Set

を定格値に保持することが可能である。

H.T.D. 及び 5 kW H.T.D. 型直流発電機は、周波数変動時にもその運転速度を一定に保つため 10 kW 直流分巻電動機により駆動しその電源は副励磁機よりとるようにした。第 12 図はその H.T.D. セットである。

〔V〕 結 言

以上日立製作所に於て製作された本邦最大容量の関西電力株式会社納丸山発電所用 72,500 kVA 交流発電機の仕様並びに構造の概要を述べた。その主なるものは、本機が完全な傘型であること、 GD^2 、短絡比等保証値を上廻り十分余裕を持たせたこと、固定子線輪に一回巻きを採用したこと、回転子継鉄は安全率の高くなる積み方とし、中央部に通風孔を設けたこと、推力軸受部を新しい構造とし、組立据付に便ならしめたこと等である。これらの結果は工場試験に於て、諸特性に優秀な成績を収めたのみならず、電氣的にも機械的にも非常に安定度

の高い機械であることが実証された。

特にこれだけの大容量機に対して上側に軸受がなくとも、軸の振れは非常に小さく、振動等もなく安定度の高いものを製作し得たことは、傘型機の製作限界の拡大ともなり、斯界に貢献する所大なるものありと考える。

現地に於ける据付作業も着々に進捗しつつあり、日本の技術の最高水準を示すこの記録的製品の完成は、種々の意味から大きな関心と期待が持たれておるものであつて、邦家にとつて誠に喜ばしいことである。

終りに本機の製作に当り御熱心に御指導御鞭撻を賜つた関西電力株式会社大田垣社長、森副社長、伊藤次長をはじめ関係者各位に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- (1), (3) 菊地、滝田：日立評論 33 7 513~522 (昭 26-8)
- (2) 高木、菊地：日立評論 33 6 445~454 (昭 26-6)
- (4) 菊地：日立評論 33 10 827~832 (昭 26-10)

