

# 電 解 用 低 電 圧 大 電 流 直 流 発 電 機

Low Voltage Heavy Current D.C. Generator for Electrolysis

木 田 真 吉\*

## 内 容 梗 概

金属チタニウムを製錬するには、還元剤として多量の高純度マグネシウムを要する。今回、東邦チタニウム株式会社へ納入した 40,000 A 27.5 V 電源設備はマグネシウムの電解製錬に使用するものである。

かかる低電圧、大電流の直流をうるための整流機としては、接触変流機、乾式整流器、または電動発電機のいずれを選択すべきかについては多くの問題があるが、本設備には最も信頼性のある在来の様式の直流発電機が採用された。本文において、これらの整流機を比較し、特に単極発電機については、高速摺動面よりの集電に関する困難性を指摘し、普通の直流発電機を採用した経緯をのべた。

直流発電機は、550 kW 27.5 V 20,000 A 250 rpm 双整流子型連続定格の機械2台よりなり、並列に接続して 40,000 A の電解槽に給電するもので、駆動機は 1,650 HP の三相同期電動機である。

本設備の特長はつぎの諸点である。

- (1) 全負荷効率が高い。発電機の効率は 89.4%，電動機は 96.5%，すなわち総合効率は 86.3% に達する。
- (2) 電圧調整範囲が広く、負荷電流 40,000 A にて電圧は 5~27.5 V に容易に調整できる。
- (3) 整流がきわめて良好で、全使用範囲において完全な無火花整流を行う。
- (4) マグネシウム電解によつて発生する腐蝕性ガスから機器を防護してある。
- (5) 同期電動機は、起動リアクトルにより自己自動起動を行なうもので、起動操作が容易である。
- (6) 過電流または電源の停電などに対する保護警報装置を備えている。

最も重要なことは、電解用電源として、長期間の全負荷連続運転に対する信頼性の高いことである。本設備は昭和30年5月より営業運転を開始し、全負荷 40,000 A において引続き好調裡に運転中である。

## 〔I〕 結 言

金属チタニウムは耐蝕性、耐熱性および耐海水性のすぐれた金属として、航空機、艦船、タービンその他各方面に賞用され、我国においてもきわめて急速な増産が計画されている。Kroll 法によつてチタニウムを製錬するには還元剤として高純度の Mg を多量に要するにもかかわらず、我国の Mg 電解工業設備はきわめて貧弱な状態にあり、Mg を安価かつ多量に供給することは、チタニウム製造工業にとつて緊急を要する課題となつている。

今回、東邦チタニウム株式会社へ納入した Mg 電解用 40,000 A 直流電源設備は、550 kW, 27.5 V, 20,000 A, 250 rpm の双整流子型直流発電機2台を並列接続して 40,000 A 電解槽に給電する、1,650 HP 三相同期電動機駆動の電動発電機で、低圧大電流機として、我国の記録品である。

大電流用整流機としては、接触変流機、乾式整流器なども実用され、殊に前者の発達が目覚ましいものがあるが、今回の大電流機に対しては、その機構と確実性に関して現在最も信頼できるものとして、在来の様式の直流発電機が採用されたものである。接触変流機に比し直流発電機は効率の点においては、これに劣るものと思われるが、電圧を広範囲にかつ容易に調整しかつ安定した運

転のできることは他のすべての整流機器よりもすぐれた点である。

ここに、本発電機の特長と構造について述べ大方の御参考に供したい。

## 〔II〕 Mg 電解用電源の特長

Mg 電解用電源に対して特に要望される点を簡単に摘記すればつぎの通りである。

- (1) 低電圧大電流であること。

MgCl<sub>2</sub> の理論分解電圧はきわめて低く、熔融塩の加熱に要する電力と母線の電圧降下を見込んでも一槽当り 5~7 V に過ぎない。一方、電流は数千ないし数万 A に達し、近時電流容量は逐次増大する傾向がある。

- (2) 効率が高いこと。

電解化学製品中、Mg と Al は電力原単位が最高であり、電源設備には特に高効率が要求される。

- (3) 電圧調整が可能なこと。

電解槽電流は、できる限り一定に保つことが望ましい。生産量の増減とか、電力の制限を受ける場合には、電圧調整が必要になる。水溶液電解槽では、ある程度の電流の加減が可能であるが、熔融塩電解では電流を増減することは不都合があるので、電解槽の直列箇数を増減して、生産量または電力の調節を行わなければならない。

- (4) 全負荷電流で連続運転に耐えること。

\* 日立製作所日立工場

電解槽は一度運転を開始すればほとんど無期限に連続運転され、一度停電すれば幾多の支障を生ずる。この要求は熔融塩電解において特に強いので、電源設備は特に確実に信頼できるものでなければならない。直流電源に対するかかる苛酷な要求は電解槽以外にはほとんどないのである。

(5) 腐蝕性ガスに対する防護。

Mg 電解においては多量の塩素ガスを発生するので、機器に対しては十分な防護対策を必要とする。

### 〔III〕 各種直流電源について

低電圧大電流に適する直流電源を挙げれば

- (1) 接触変流機
- (2) 乾式整流器
- (3) 電動発電機

であろう。このうちいずれを選択すべきかは、確実性、効率、設備費、運転維持費、建屋面積その他について詳細に検討する必要がある、かなり面倒な問題である。第1図は直流 10,000 A 機における各種整流機器の効率と電圧との関係を示した一例<sup>(1)</sup>を参考に掲げたものである。

#### (1) 接触変流機

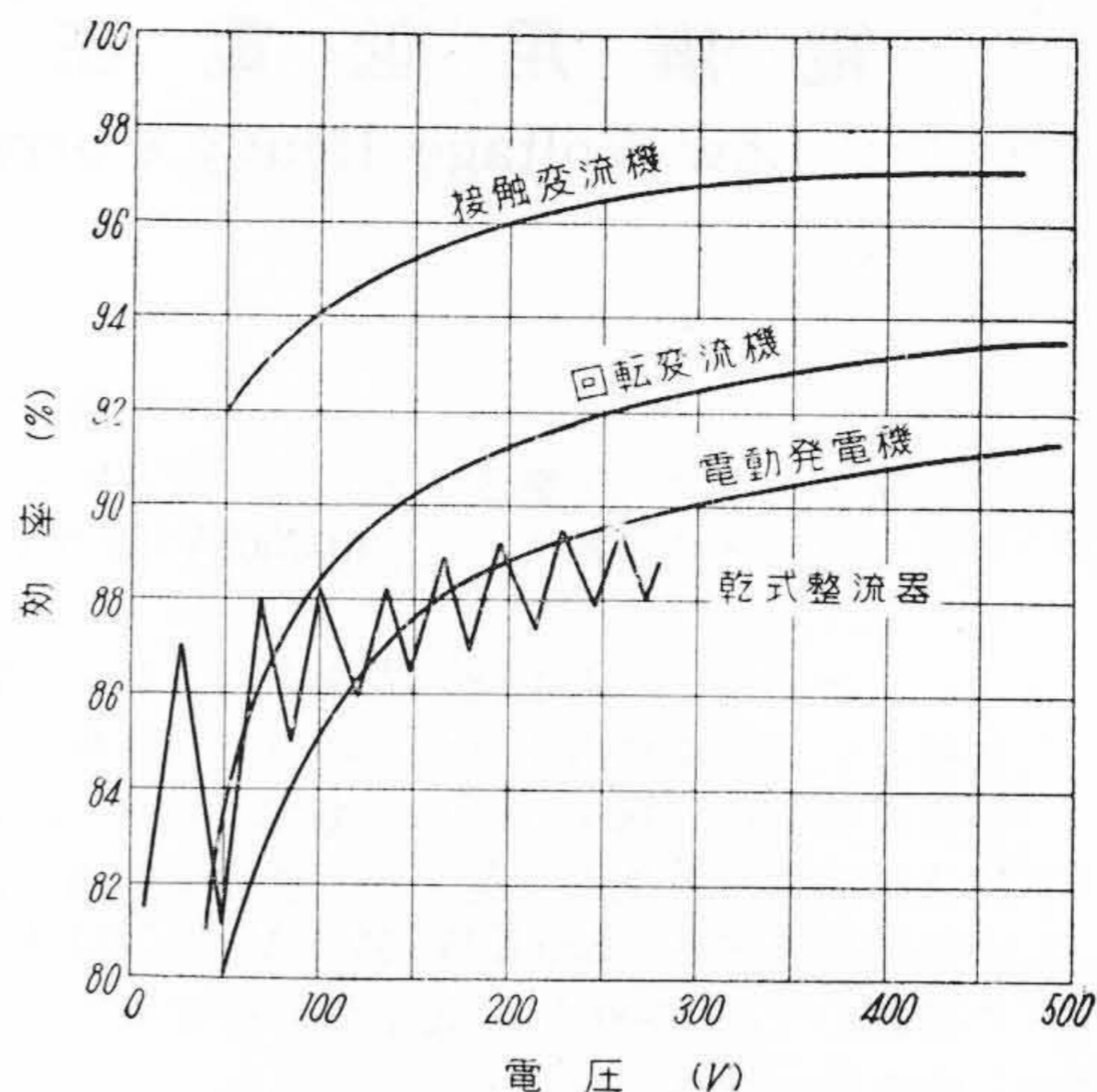
近來、急速な発達を示し、低電圧において効率がよく電解用電源として大いに注目すべきもので 130V, 16,000 A 機, 304 V, 10,000 A 機などが製作されており、最も将来性あるものと考えられる。接触変流機に最適と考えられる電圧範囲は 50~500 V くらいで本設備のような極く低電圧に対しては多少の問題が残されているようであり、また電源の電圧変動に対して非常に敏感で、過負荷にも弱いので特殊の保護装置を必要とする。電圧調整は機械的または磁気的方法で行われるが、広範囲の調整は電源変圧器の切換えによらねばならない。

#### (2) 乾式整流器

電解用電源に乾式整流器を使用することが歐洲において最近いちじるしく増加した。電解用としておもに使用される範囲は、接触変流機の経済的使用限界以下すなわち約 50V 以下であろう。乾式整流器は使用温度が低いため大容量では間接水冷式とされ、その一例として 10V 30,000 A の注目すべき例がある。

電圧調整はタップ付変圧器で行うが大容量になるとさらに中間変圧器が置かれ、そのため効率が幾分低下する。寿命は 30,000~50,000 時間で、他の整流機に比べると大分短かく、経年変化のため順方向抵抗が増大して損失を増すことが欠点である。

以上の二種に比し電動発電機は効率の点でやゝ劣るが、その機構と確実性の点において現在最も信頼できるもので種々比較検討した結果、今回の 40,000A、設備に



第1図 各種整流機の効率比較 (直流 10,000 A)  
Fig.1. Overall Efficiencies of 10,000 Amp. Units Rectifiers at Various Voltages

対しては直流発電機を採用した。たゞ、普通の直流発電機にするか、あるいは単極発電機を選ぶかについては一応問題になるので、その利害について簡単に考察してみたい。

#### (3) 単極発電機<sup>(2)</sup>

きわめて低電圧大電流の直流電源として今までに製作された大容量機には

7.5 V 150,000 A 514 rpm<sup>(2)</sup>

14 V 50,000 A 750 rpm<sup>(3)</sup>

15 V 30,000 A 735 rpm<sup>(4)</sup>

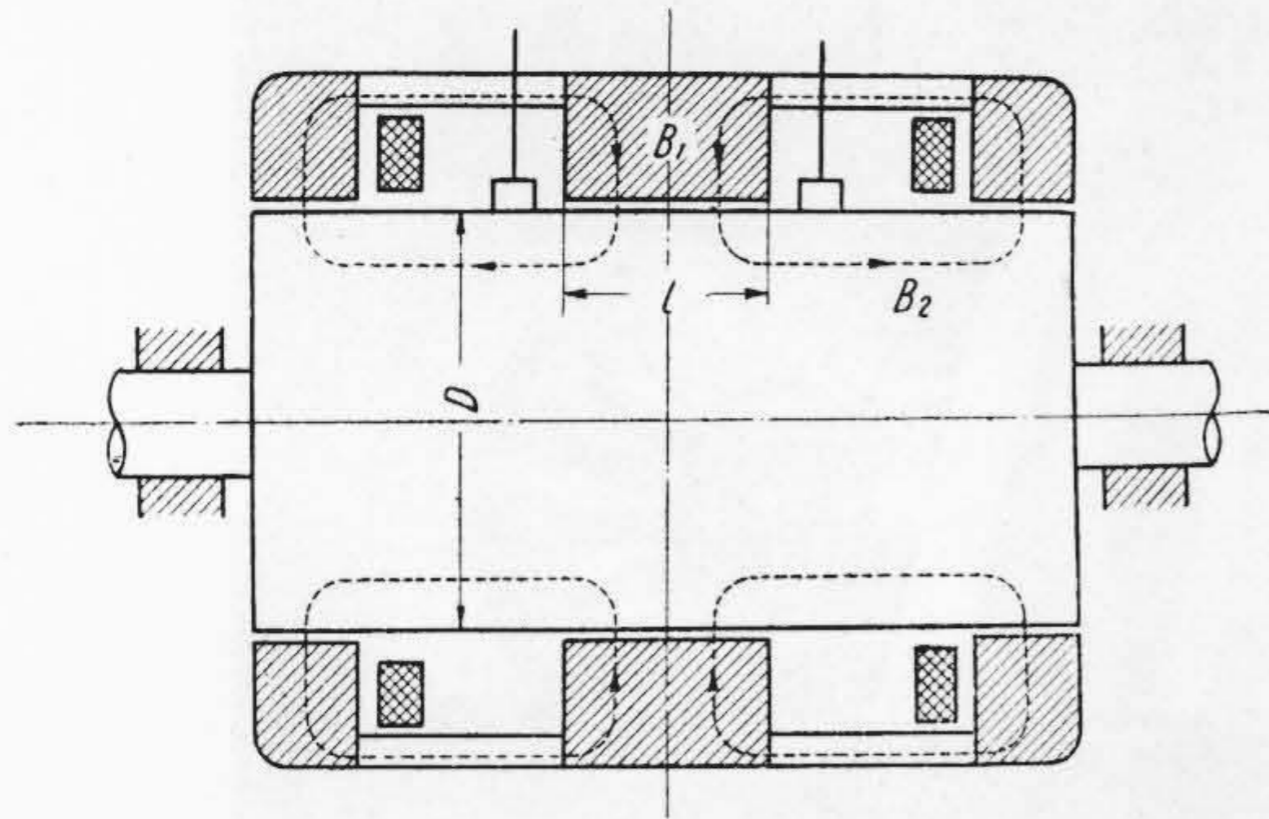
などがあり、効率は、50,000 A 機は 93%、30,000 A 機は 87.5% と報告されている。

単極発電機の発生電圧ははなはだ低く、第2図のような構造の発電機において、電機子直径を  $D$  cm, 周辺速度を  $v$  cm/s, 空隙および電機子鉄心における磁束密度をそれぞれ  $B_1$  および  $B_2$  gauss とすれば誘起電圧  $e$  は

$$e = B_1 l v \times 10^{-8} = \frac{D B_2}{2} v \times 10^{-8} V$$

ただし  $B_1 = B_2$  とする。

であるから、 $v = 30$  m/s,  $B_2 = 16,000$  gauss としても直径 1m の電機子をもつてようやく 24V を発生しうるに過ぎず、機械寸法は電圧によつて決定されてしまう。一方、電流通路はいちじるしく大きいから、集電装置が許せばきわめて大電流がえられるわけで、単極発電機は本質的に低電圧大電流の機械である。単極発電機で相当の高電圧を発生させるためには、電機子をきわめて高速度で回転させる必要がある、第2図における  $B_2$  を  $B_1$  よりも高くしない限りは滑動環の周辺速度は導体速度より低くはできぬため摺動面の速度もまたきわめて高くなる。また、



第2図 単極発電機模式図  
Fig. 2. Explanatory Diagram of Homopolar Machine

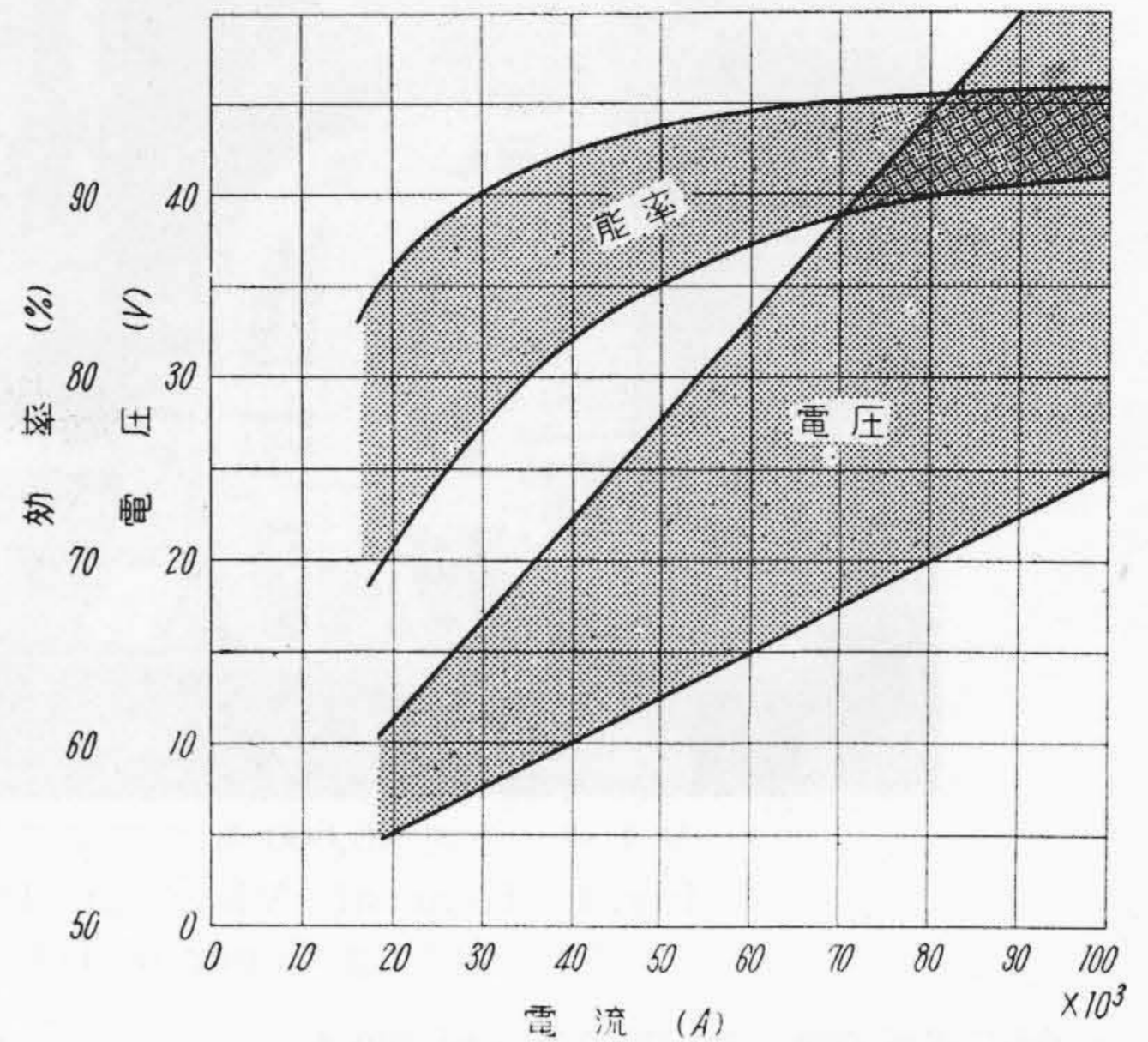
高電圧をうるために多数導体を直列接続することは各滑動環が全電流を負担するため、大きな滑動環ときわめて多数のブラシとを要し高速回転と相まって集電部分の発熱と効率低下がいちじるしい。単極発電機を経済的に製作しうる範囲と効率を N. Winder 氏は第3図のように示している。(4) また M. Zorn 氏は、ブラシ摩擦係数 0.15, 電圧降下 0.25 V, 電流密度 25 A/cm<sup>2</sup>, 圧力 0.18 kg/cm<sup>2</sup>, 滑動環の周辺速度 33 m/s とし、励磁損失を 0.2I (I は定格電流) と仮定して単極発電機の効率は端子電圧 V に対して

$$\eta = \frac{V}{V+1.4} \times 100\%$$

で与えられるとしている(5)が、この式には軸受損失と風損が含まれておらずまた電流密度 25 A/cm<sup>2</sup> も高過ぎるように思われる。

単極発電機は原理的には構造が簡単で、第2図の構造のものでは巻線や絶縁物がないから信頼度が高く整流の問題もない。単極発電機の進歩を阻止する唯一の弱点は高速摺動面よりの大電流の集電に関するもので、つぎのような困難な問題がある。

滑動環に非常に多数のブラシを使用するとブラシ電流が不均等に分布してごく少数のブラシに過大電流が流れる結果ブラシが過熱膨脹し、あるいはブラシリード線が溶断することがあるので、電流分布を均等にするためにブラシおよび滑動環に特別の方法を講じなければならない。高速滑動環においてはブラシ摺動面が鋸歯状の異常磨耗を生じることも往々経験するところである。また、直流を集電する場合、正極側の滑動環表面が荒損する現象があり、大電流の場合はその荒損防止策も重要な問題である。滑動環の高速回転のためブラシ摩擦損失による発熱がいちじるしいので、たとえば水冷式にするなどの特殊の冷却手段を必要とし、その構造が複雑になるなどで、これら集電に関する諸問題の解決にはかなり長期間の実験研究を積みねばならないと思われる。通常の構造



第3図 単極発電機の経済的範囲と効率  
Fig. 3. Economical Range and Its Efficiencies of Unipolar Machine

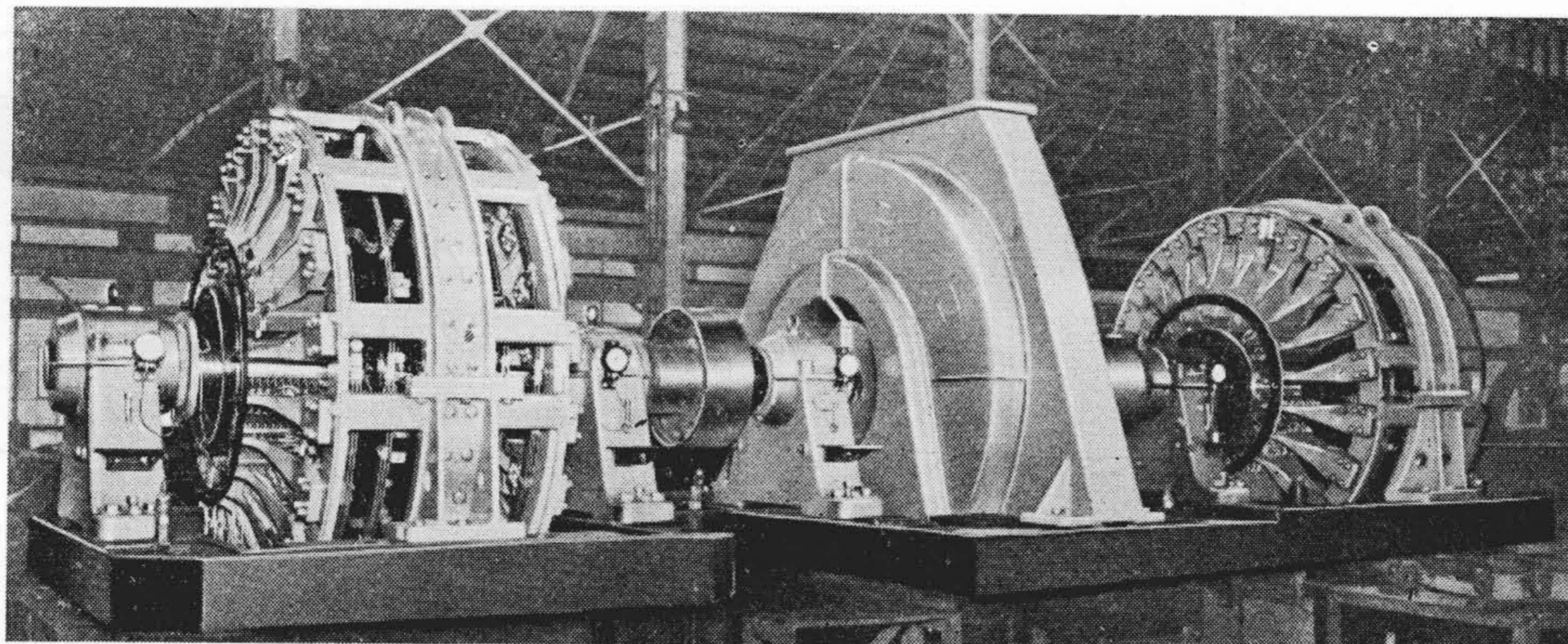
の集電装置およびブラシを使用したのでは、特に熔融塩電解のごとき長期間全負荷連続運転を行う場合においては、消耗ブラシの補充と集電部分の保守に悩まされる可能性が多分にある。このほか、単極機では、主軸の軸受部分にも単極作用によつて電圧を発生するため軸受を損傷するおそれがあるからその対策を講ずること、ブラシの躍動によつて起る電圧の脈動を防止する必要があるなど、その原理は至極く簡単であるにかゝらず実用化にはなお多くの問題が残されているのであつて、これが今回の電源設備には在来の構造の整流子付直流発電機を採用するに至つた理由である。

今回の 27.5 V, 40,000 A 電源に対して単極発電機と整流子付発電機との設計比較も一応は行つたのであるが、27.5 V という電圧は 40,000 A に対しては、N. Winder 氏の示したように、単極発電機にとつて高過ぎるようである。このためブラシ摩擦損失が損失の大部分を占めることになり、効率は整流子付発電機とほとんど同じ値になつてしまうことがあきらかになつた。直列接続によつて電圧を高めることは集電部分の損失とブラシ使用量の点において勿論問題とならない。

#### 〔IV〕 本設備の仕様

主機の仕様はつぎの通りである。

- (1) 1,100 kW 直流発電機 1 組
- |   |   |               |
|---|---|---------------|
| 型 | 式 | 閉鎖強制通風双整子両軸受型 |
| 出 | 力 | 550 kW × 2    |
| 電 | 圧 | 27.5 V        |
| 電 | 流 | 20,000 A × 2  |
| 回 | 転 | 数 250 rpm     |
| 定 | 格 | 連続            |



第4図 直流40,000 A 電動発電機 (発電機の通風カバーを除いたところ)  
Fig.4. General View of D.C. 40,000 A Motor-Generator Set  
(Ventilating Cover of D.C. Generator Removed)

電圧調整範囲 5~27.5 V (40,000 A 一定)

界磁 他励磁

効率 89% 以上

(2) 1,650 HP 三相同期電動機 1台

型式 閉鎖強制通風両軸受型回転界磁式  
制動巻線付

電圧 3,000 V

周波数 50~

極数 24

力率 1.0

定格 連続

起動方式 交流自己起動

効率 94.5% 以上

(3) 励磁機

直流発電機用励磁機 20 kW 1台

同期電動機用励磁機 20 kW 1台

駆動用誘導電動機 50 kW 1台

通風用として全セットに対して、40HP 誘導電動機で駆動するターボファン1台を使用する。第4図は組立中の電動発電機で、発電機の通風カバーを取除いた状態である。

### 〔V〕 本設備の特長

(1) 全負荷効率が低い。

低電圧大電流機では集電部分における損失が発電機の能率を決定するといつても過言ではない。本機は金属黒鉛ブラシを使用し、黒鉛ブラシに比して電圧降下損失と摩擦損失とをいちぢるしく低下したので、発電機の全負荷効率は89.4% (損失中にはJEC規定による漂遊負荷損を含む) 同期電動機は96.5% で総合効率は86.3% に達した。同期電動機であるから力率の良いことは勿論である。

(2) 電圧調整範囲が広い。

電解槽の直列筒数に応じて、発電機の界磁調整器の操作によつて、電流40,000 A にて5~27.5 V に容易に調整しうる。

(3) 整流がきわめて良好である。

全使用範囲、すなわち電圧5~27.5 V、電流0~40,000 A において整流は完全に無火花である。

(4) 腐蝕性ガスに対して防護してある。

Mg 電解によつて多量の塩素ガスを発生する。発電機および電動機は耐蝕処理を施し、かつ電機室外の高所から清浄空気を導入して機器を冷却する他冷却方式とした。

(5) 起動が容易である。

同期電動機は起動リアクトルにより自己自動起動を行うが、同期電動機の起動回転力は十分大きく設計してあるので起動の際、直流発電機のブラシを離揚したりあるいは軸受を油圧で押し上げたりする必要がなく、起動操作は至つて簡易である。

(6) 過電流あるいは電源の停電などに対する保護警報装置が完備していることなどである。

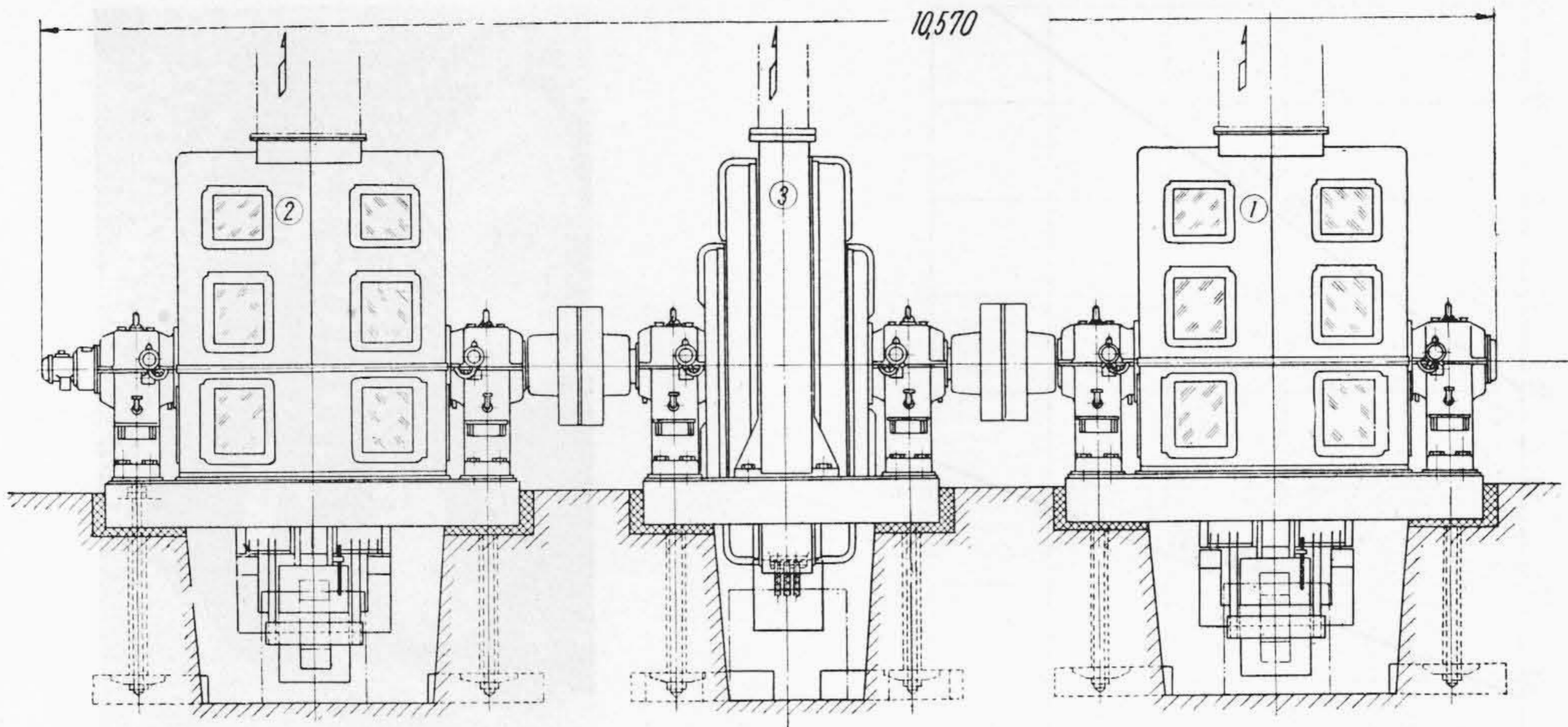
### 〔VI〕 発電機の設計上特に考慮した点とその構造

電動発電機は第4図および第5図に示すように、中央に1,650 HP 同期電動機を置き左右に同一構造の550kW 直流発電機を直結したものである。直流発電機は第6図にその断面を示すように、双整流子型両軸受台付で、軸受は自然冷却式給油環付円筒軸受である。継鉄は鋼板溶接構造、上下二つ割である。第7図は継鉄の上半部を取付ける前のものである。

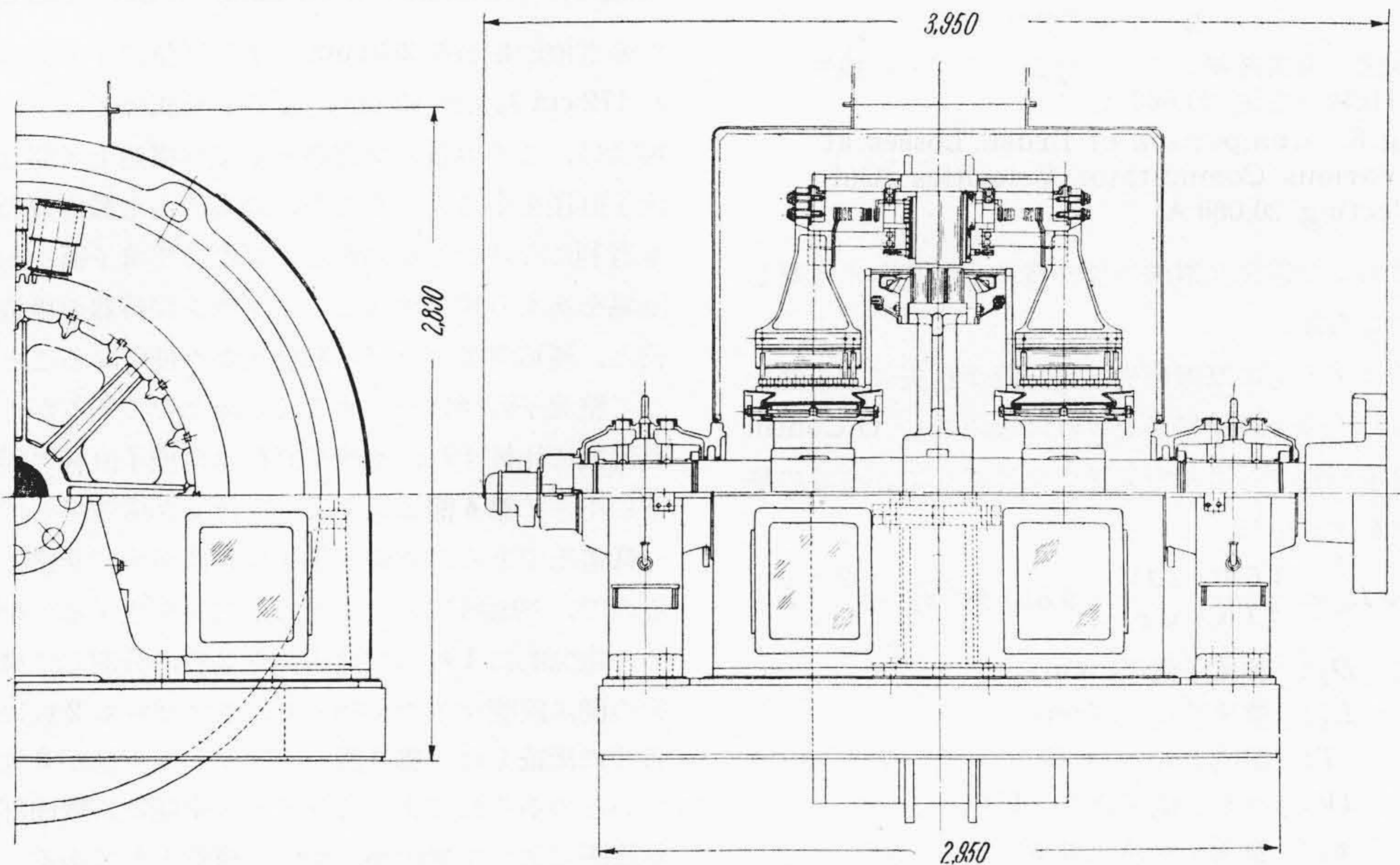
以下に本発電機の設計に当つて特に考慮した点と構造上の特長について説明する。

(1) 効率の向上とブラシ材質の選定および整流子寸法について

先に述べたように、低電圧大電流発電機の効率は集電

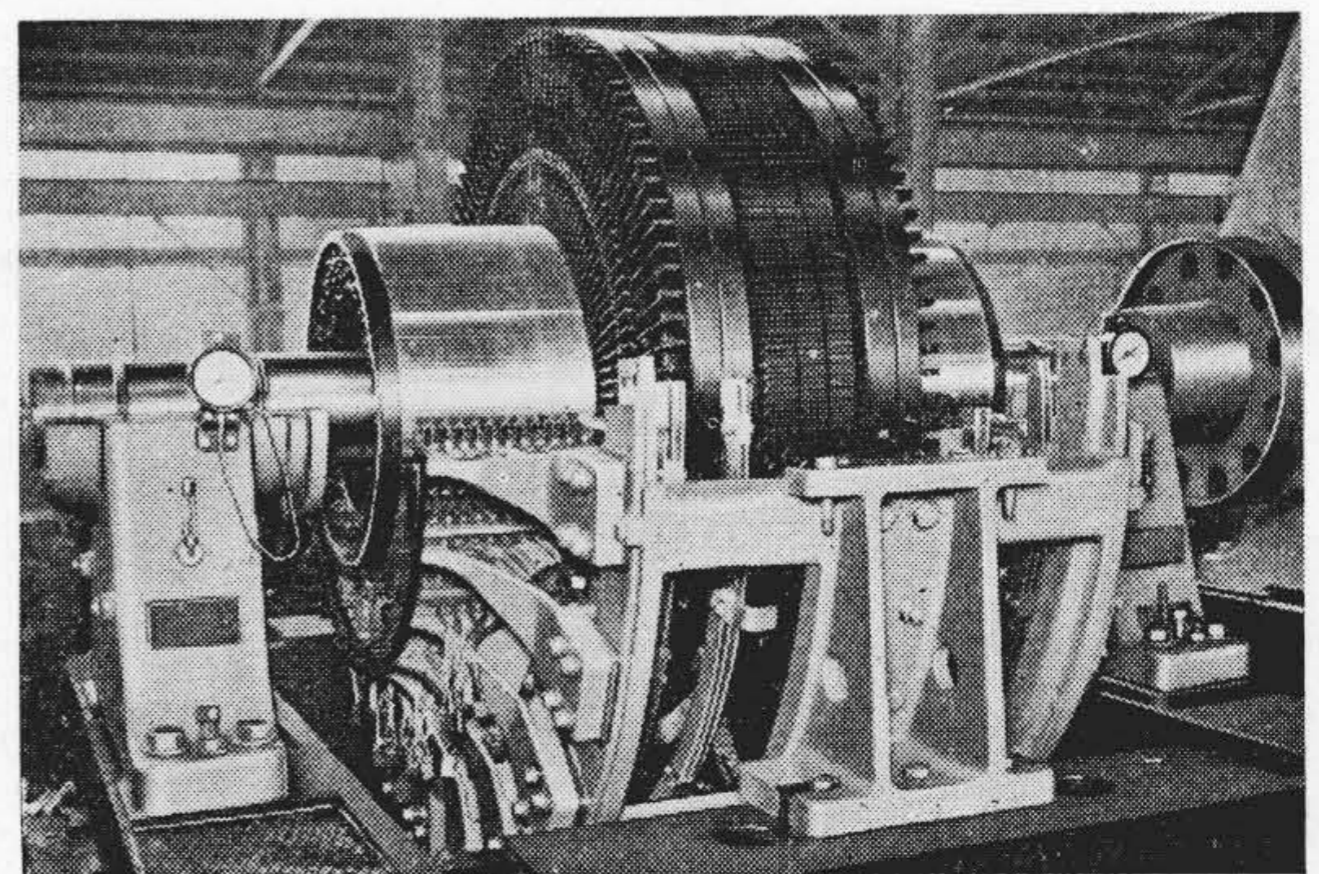


第5図 電動発電機組立図 Fig. 5. General View of Motor-Generator Set

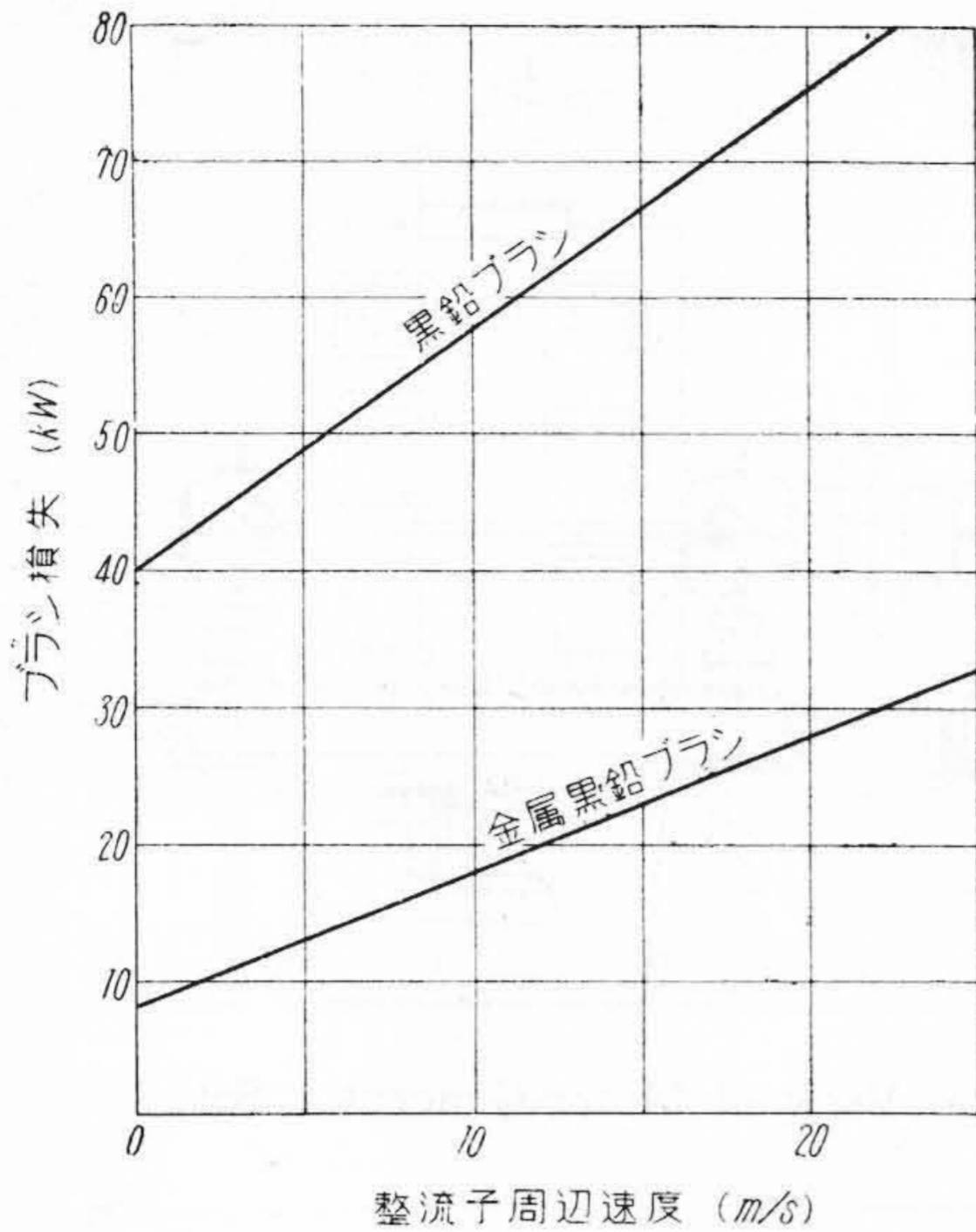


第6図 直流発電機構造図 Fig. 6. Construction of D.C. Generator

部分の損失によつて大きく左右されるのでブラシ材質の選定は能率を向上するために重要な問題である。1 台の発電機の定格電流 20,000 A に対して黒鉛ブラシと金属黒鉛ブラシについてその損失すなわち電圧降下損失と摩擦損失との和を整流子の周辺速度に関して比較すると第 8 図のようになる。たゞし黒鉛ブラシの電流密度  $\sigma_b=9$  A/cm<sup>2</sup>, 電圧降下  $\Delta V=1$  V (ブラシ 1 筒につき), 摩擦係数  $\mu=0.27$ , ブラシ圧力  $p=0.15$  kg/cm<sup>2</sup> とし, 金属黒鉛ブラシは  $\sigma_b=12$  A/cm<sup>2</sup>,  $\Delta V=0.2$  V,  $\mu=0.2$ ,  $p=0.15$  kg/cm<sup>2</sup> としてある。この図よりあきらかなように高能率をうるためには金属黒鉛ブラシを使用することが決定的条件であるが, 整流子周辺速度, 換言すれば整流子直径と発電機の回転数とをいかに選ぶべきかは, その



第7図 組立中の直流発電機 Fig. 7. D.C. Generator on Assembling



第 8 図 金属黒鉛ブラシと黒鉛ブラシとの損失の比較 (電流 20,000 A)

Fig. 8. Comparison of Brush Losses at Various Commutator Velocities (Collecting 20,000 A)

温度上昇および電動発電機の製作費にも関連して考察しなければならない。

整流子はブラシの摩擦損失と電圧降下損失による熱を放散するに十分な表面積がなければならない。O.Contin氏は整流子の長さや冷却空気速度を考慮して、所要の整流子寸法を次式で与えている。(6)

$$D_k \sqrt{L_k} = \frac{1,670}{\pi TK} \left[ \frac{2\Delta V}{\sqrt{v_k}} + 9.81 \mu p \sqrt{v_k} \cdot \frac{2}{\sigma_b} \right] I$$

- ここに  $D_k$ : 整流子直径 (cm)
- $L_k$ : 整流子長さ (cm)
- $T$ : 温度上昇 (°C)
- $\Delta V$ : ブラシ電圧降下 (V)
- $v_k$ : 整流子周速 (m/s)
- $\mu$ : ブラシ摩擦係数
- $p$ : ブラシ圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\sigma_b$ : ブラシ電流密度 (A/cm<sup>2</sup>)
- $I$ : 負荷電流 (A)

$K$  は冷却状態により決まる常数である。

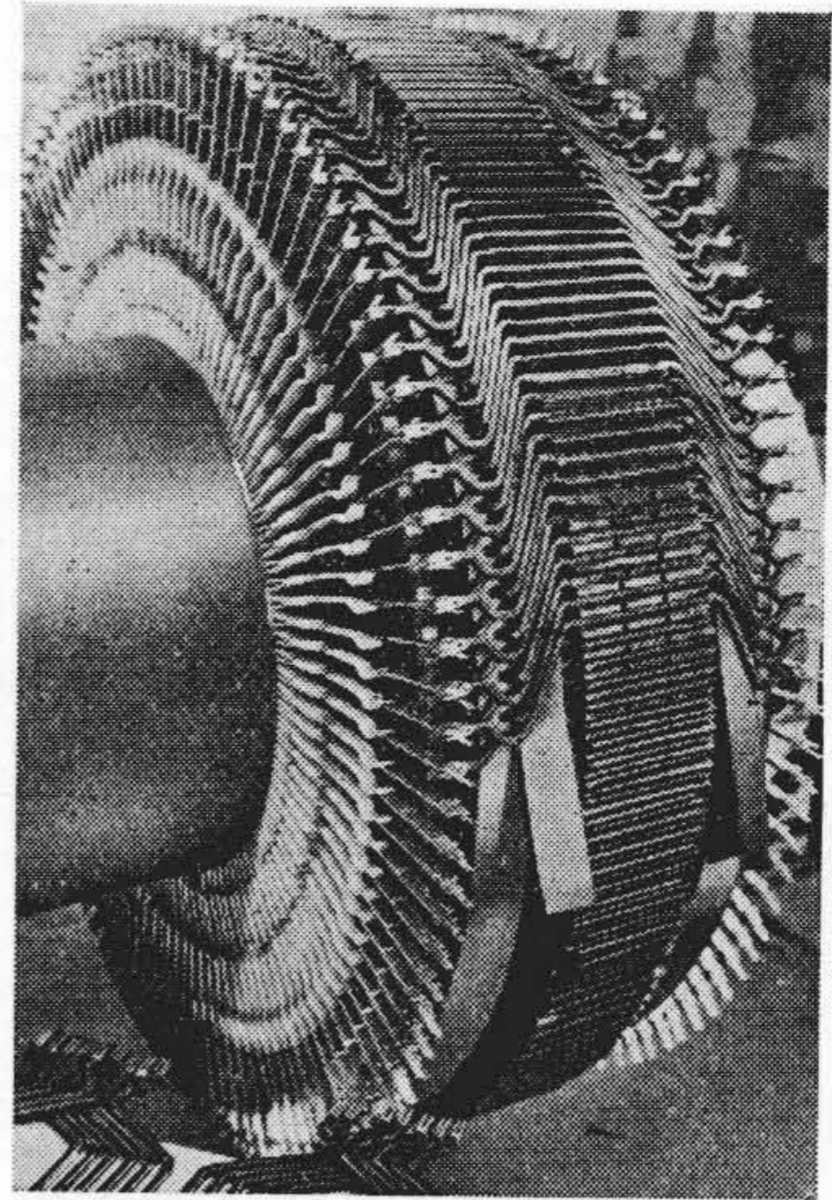
経済寸法をうるため前式を  $v_k$  の函数とみて  $D_k \sqrt{L_k}$  最小の場合を考えると

$$\Delta V = 9.81 \mu p v_k \cdot \frac{1}{\sigma_b}$$

の条件のとき、すなわちブラシの電圧降下損と摩擦損とが等しいとも整流子寸法は最小になる。

いま、通風状態を全く同一として、黒鉛ブラシ使用の場合と金属黒鉛ブラシ使用の場合とを比較してみると

- 黒鉛ブラシのとき  $v_k = 22.6$  m/s
- 金属黒鉛ブラシのとき  $v_k = 8.2$  m/s



第 9 図 組線中の電機子  
Fig. 9. Armature with Coils Under Assembling

で発電機回転数を 250rpm とすれば整流子直径はそれぞれ 172 cm および 62 cm となる。金属黒鉛ブラシ使用の場合は、この容量の発電機としては構造上可能な限り整流子直径を小さくする方が、効率の点も製作費の点からも有利になることがわかる。実際は整流子面における極間隔をあまり狭くすることはブラシ保持器の構造上の制約と、運転中にブラシの取替えが不便なることを考慮して整流子直径はやゝ大きく定めたのであるが、一般の直流機に比較すれば整流子直径は電機子直径に対して非常に小さく第 6 図に見るように特異な構造をしている。

低電圧であるため整流子片は枚数が少く非常に厚くなるので、熱膨張によつて過大な内力を生ずるのを防ぐため、電氣的に 1 枚の整流子片を 2 枚に分割して構成し、その間に段間マイカを挿入し、ライザーも 2 枚に分けて各片に接続した。第 9 図のライザーの下部が 2 枚に分れているのがそれである。ライザー中間には彎曲部を設け熱膨張によつて無理がかからぬ構造としてある。

(2) 電機子寸法、極数および回転数の決定

電機子寸法の決定に関する諸家の説には、広い範囲に渉る経験常数を含んでいて本機のような特殊機に対してその妥当な値を見出すことはかなり困難なようであるので、設計に当つては別の考え方からまず電機子の最小直径を決め、つぎに整流および能率のゆるす限りにおいて回転数を高くする方法を採つた。

低圧大電流であるから勿論、双整流子型、重巻とし、毎溝の導体配列を 1×1×2 とすれば

$$A = \frac{1}{\pi D} \cdot Z \cdot \frac{I}{P}$$

- $A$ : アンペアコンダクタ (A/cm)
- $D$ : 電機子直径 (cm)
- $Z$ : 導体総数  $\times \frac{1}{2}$

$I$  : 負荷電流 (A)

$P$  : 磁極の総数

一極当りの溝数を  $N_s$  とすれば

$$Z = PN_s$$

であるからこれより

$$D = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{N_s}{A}$$

すなわち電機子直径は、極数および回転数には無関係に  $N_s/A$  で決定することができる。

$A$  は熱的ならびに整流上の見地より制限されるが、本機の場合は熱的にはほとんど考慮の要がない。なぜなら効率の点より、導体の電流密度を低くとり銅損失を低下せざるをえなかつたからで、 $A$  の値は整流に重点をおいて決定した。

電機子直径は  $N_s$  に比例して減少しうるのであるが、 $N_s$  の最小値をどこまでゆるしうるかに関しては慎重な検討を要する。 $N_s$  過少のときは電機子の位置によつて磁気回路のリアクタンスが変化するために主磁束が脈動して整流に悪影響をおよぼし、双整流子機にあつては内部循環電流を生じるおそれがあり、また端子電圧の脈動率を増大することにもなるので極度に少なくすることはできない。結局、 $N_s$  は従来の低電圧機の実績に基いて決定した。

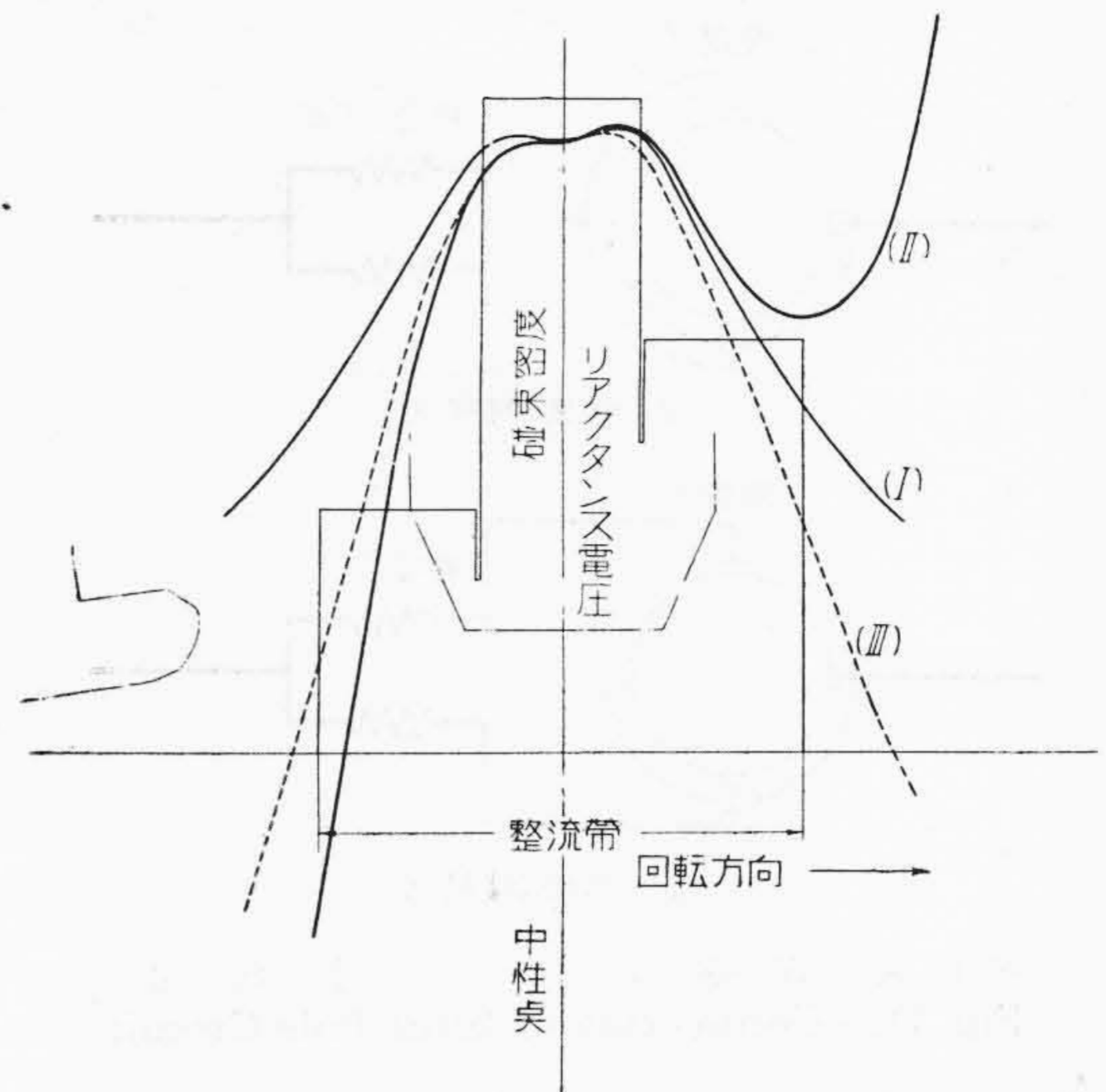
極数の決定も相当厄介な問題であるが傾向としては極数を増加すれば

- (a) 鉄材料は減少する。
- (b) 電機子の毎溝電流が減少し整流上好都合である。
- (c) 毎極のブラシ電流が少くなり整流子軸長を短かくできる。
- (d) 毎極の電機子反作用が低下する。

などの利点がある反面

- (a) 極間隔が減少し補極帯に主磁束が入り込むのを避けるため極弧が減少し利用率が悪くなる。
- (b) 毎極の溝数を定めたのであるから、極数を増すことは全溝数を増すことになり、溝の空間率の関係から電機子鉄心の歯の飽和度を高める。
- (c) 整流子面における極間隔が狭くなりブラシの取扱上不便になる。

などの欠点がある。本機は上記の点および電機子反作用と補極コイルの巻数との関係も考慮して 20 極を選んだが、これは一般の直流機に比較すると電機子直径に対して極数が多く極間隔がやゝ狭い。その結果、主極の漏洩磁束が整流中の導体に鎖交して整流を悪化することと、また低電圧において電機子反作用により主磁束分布がはなはだしく歪むことを避けるために、磁束の分布状態を



(I) 補極磁束密度  
(II) 27.5V 全負荷における合成磁束密度  
(III) 同上 (5V)

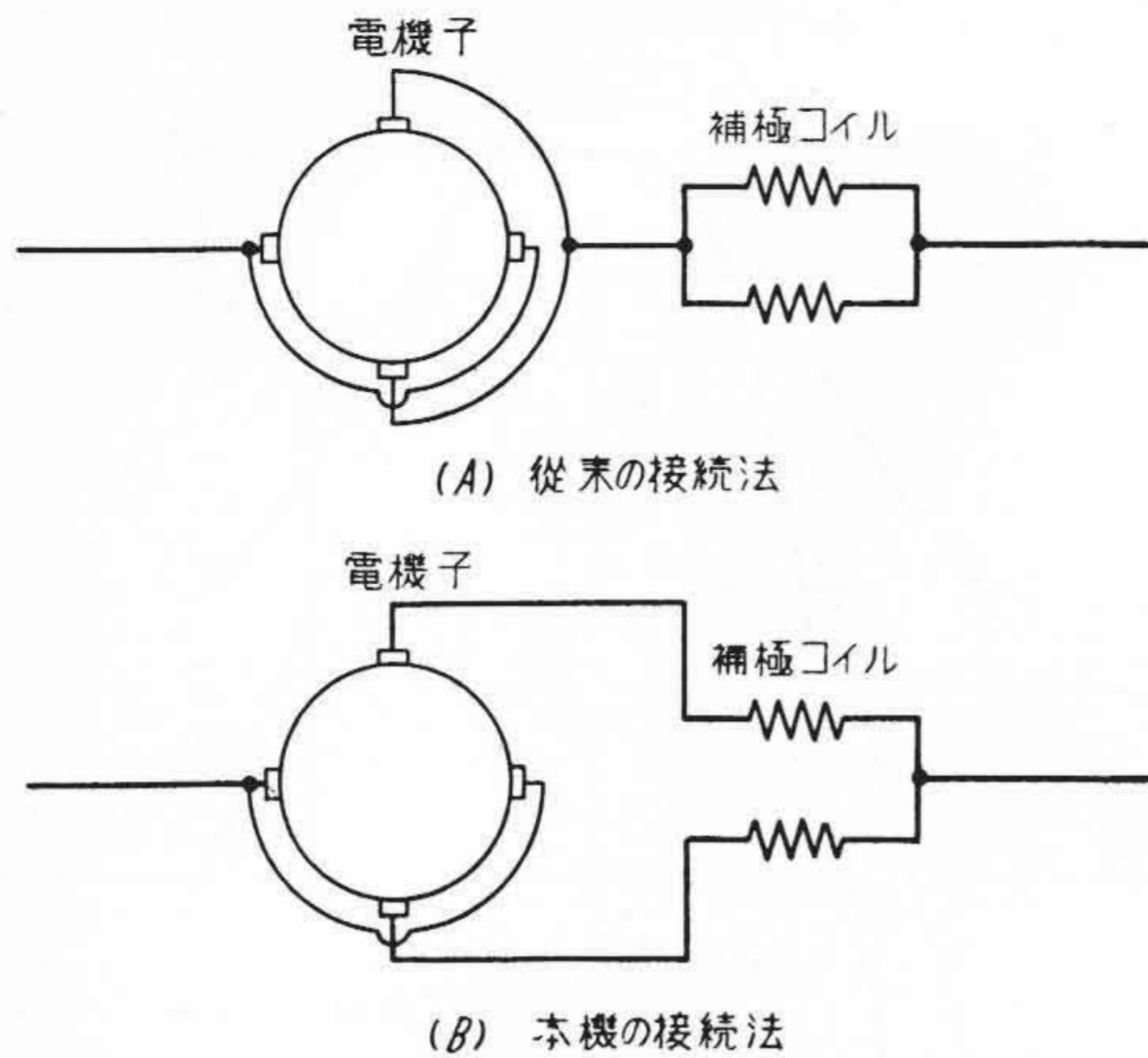
第10図 補極帯における磁束分布曲線  
Fig.10. Flux Distribution Curves at Inter Pole Zone

マッピングにより求め、主極片の先端を特殊な形状とした。主極、補極および電機子反作用起磁力による合成磁束分布は第10図の通りで、図中のリアクタンス電圧の形は Shenfer 氏の方法で求めたものである。図によれば整流帯におよぼす主極の漏洩磁束の影響は比較的僅少であることがわかる。

一般の機械では高速回転にすれば機械を経済的に製作しうることは常識であるが、本機のような大電流機では機械の価格のうち、集電部分の占める割合が非常に大きい。回転数を上げてこの部分の価格を下げることはできないばかりでなく、一方において、高速度にするほどブラシの摩擦損失が増すため効率の低下がはなはだしいことを考慮しなければならない。効率の点と、黒鉛ブラシに比してはるかに整流能力が劣る金属黒鉛ブラシを使用して十分良好な整流をうることを条件として、本機は 250rpm に決定した。

### (3) 補極コイルの接続

大電流機では補極コイルは主回路に対して並列に接続する。その接続方法を従来は第11図(A)のようにしていたが、この方法では各コイルの電流は並列回路の抵抗のみによつて配分されるのであるが、コイルの抵抗は非常に小さいから、接続部分の接触抵抗が電流の配分に大きく影響して各補極の励磁に不同を生じる結果、整流を悪化するおそれがある。本機では第11図(B)のように各極ブラシ電流をブラシ保持器の取付腕からフレキシブルリードによつて直接補極コイルに接続することによつて、各極のコイル電流を均等に分布させ、かつ各補極コイル



第11図 補極コイルの接続法  
Fig. 11. Connection of Inter Pole Circuit

電流はその接続された電機子回路の電流に対応させることにより良好な整流をえられるごとくした。

また、本機は双整流子型であるから、各補極鉄心には2箇のコイルを設けそれぞれ左右の整流子からの電流で励磁することは勿論である。

補極コイルの電流が大きいので、その接続線によつて主軸の周りに起磁力を作ると、単極作用による軸電流を発生して、軸および軸受を損傷するから接続方法は十分検討して、電機子の左右それぞれ単独において、接続線による起磁力の和を零になるようにしてある。

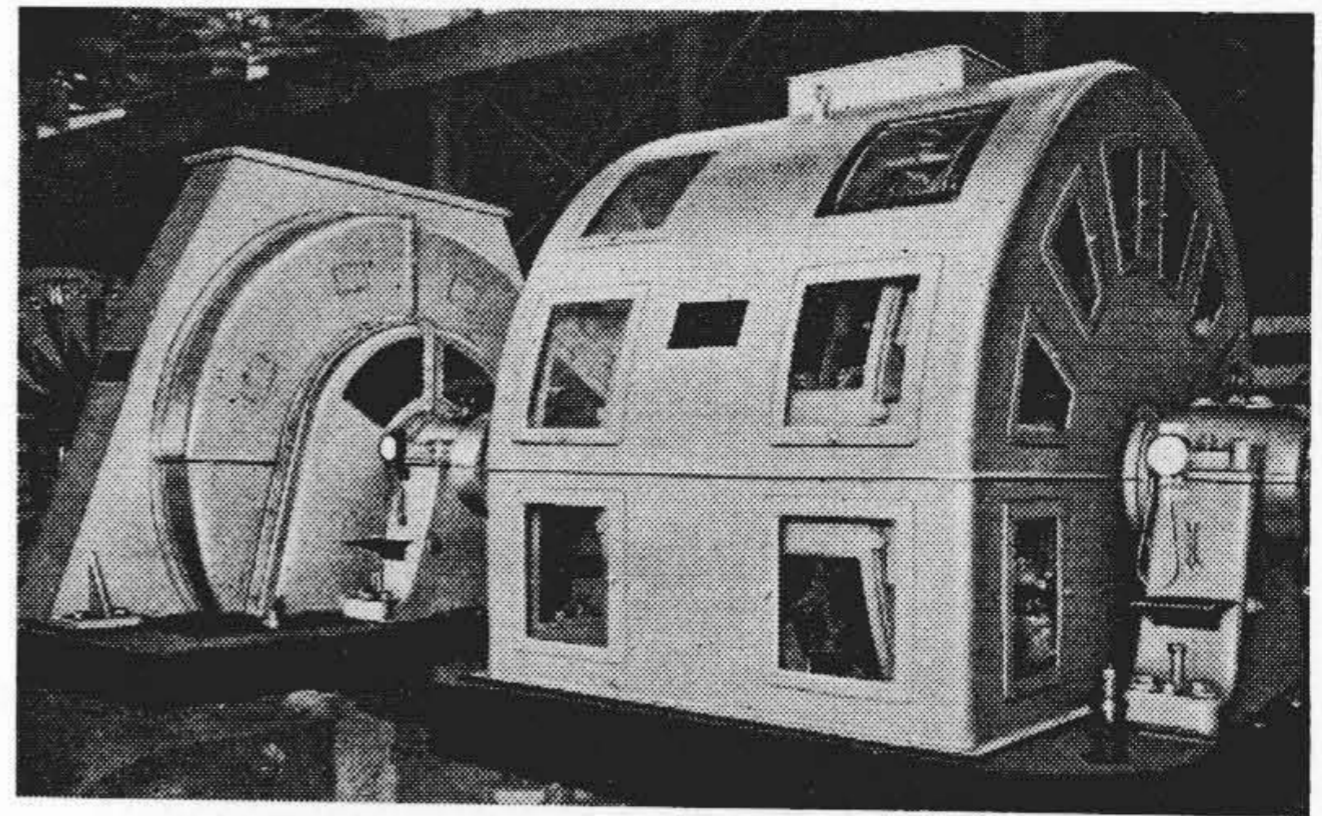
#### (4) 腐蝕性ガスに対する防護

チタニウム工場において発生する腐蝕性ガスは種々混在するが、Mg 電解においては特に多量の塩素ガスを発生するのでその防護法を講じなければならない。本設備は機器自体を耐蝕処理するほか、清浄空気によつて冷却することにした。

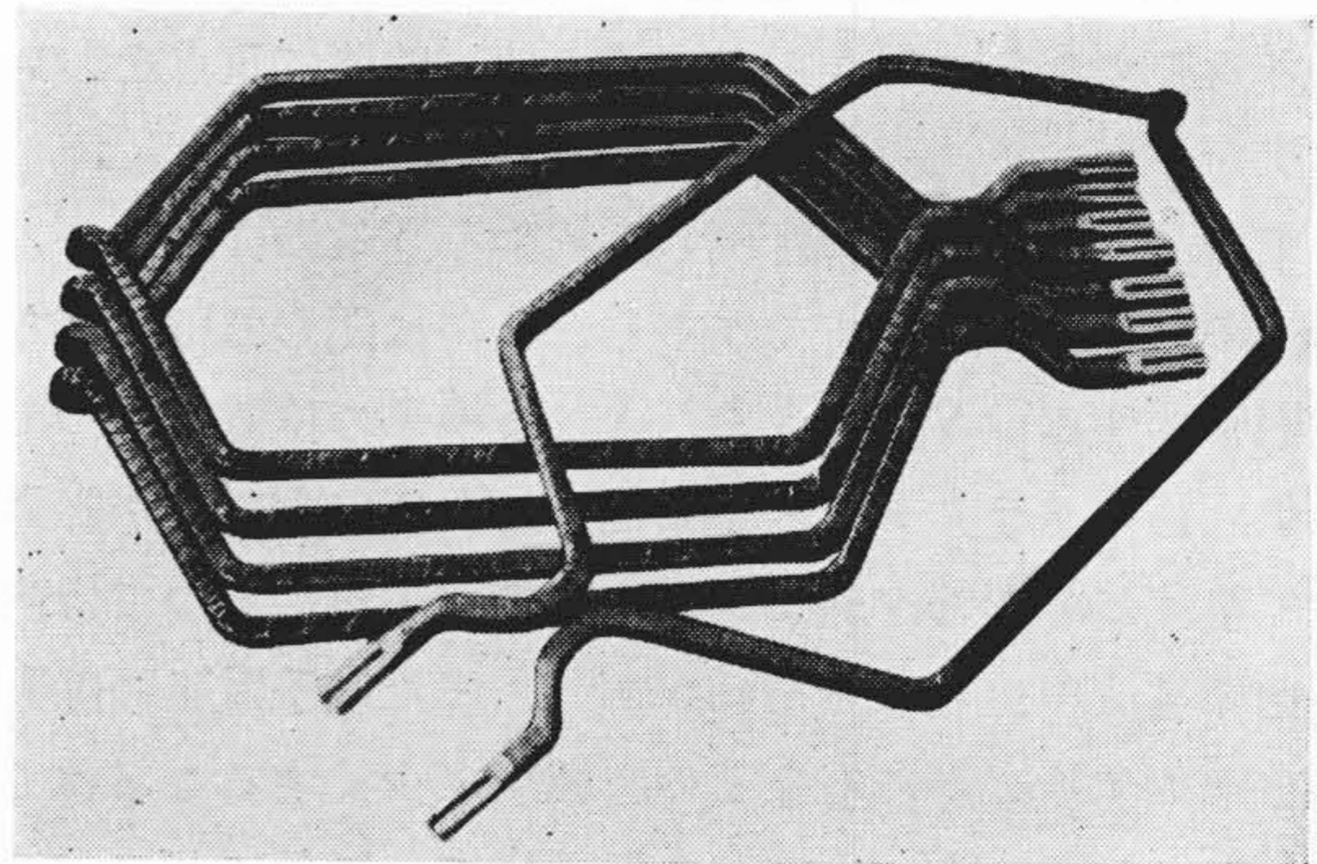
空気清浄法として考えられるのはつぎの三種である。

- (a) 遠隔の地または高所より清浄空気を導入する方法で最も安価で保守も容易である。
- (b) 液体たとえば石灰乳液によつて空気を洗滌する方法はほとんど完全にガスを除去できるが空気が水分で飽和し電機に悪影響を興えるので好ましくない。
- (c) 固体層たとえば苛性ソーダ粒充填塔を通す方法は (b) のような心配はないが、定期的に固体を取替える必要があり、(a) に比して非常に高価になる。

以上を比較して、結局 (a) の方法を採用し、電機室を密閉して、室外の高さ約 15 m の高所から煙突状の風道により清浄空気を導入し、40 HP のターボファンにより、地下風道を通して各発電機および同期電動機の下部より吹き上げ、各機の上部排気口から出た熱風はさらに風道



第12図 直流発電機 (通風カバー付)  
Fig. 12. D.C. Generator with Ventilating Cover



第13図 直流発電機の電機子コイル  
Fig. 13. Armature Coils of D.C. Generator

によつて室外に放出するようにした。発電機の通風カバーには有機ガラスの点検窓を設けてある。第12図はそのカバーを掛けた発電機の外観である。

#### (5) その他

電機子コイルは第13図のように特殊な形状をしているが、これは反対側の整流子に接続されるコイルの頭部を逃げるためである。絶縁はマイカとガラスを用いたB種絶縁で防蝕処理を施したものである。ブラシ保持器は30度進み角型、ブラシ圧力は調整ネジによつて微細に調整でき、整流子の磨耗に対してはブラシ保持器を下るしうの構造である。金属黒鉛ブラシは日立製 MH-33L を使用した。

本発電機は2台を永久並列接続して使用するもので、2台の発電機に対し1台の 20 kW 励磁機によつて並列に他励磁する。界磁調整器は2台の発電機に共通の回路に粗調整用を1箇と、各発電機の界磁に負荷平衡のための微調整用を各1箇ずつ設けたが、現地運転の結果では微調整用界磁抵抗器は1回整定しておけば、その後は発電機の電圧変動率のみによつて十分安定に平衡負荷にて並列運転を行いうることが確認された。粗調整用界磁抵抗器は、その抵抗値が最大の位置になれば界磁開閉器を開閉できないように鎖錠してある。電流計は、各発電



機ごとの負荷計側用 30,000 A 各 1 箇, 40,000 A 母線用として 50,000 A 1 箇を使用する。

保護警報装置としては, 界磁調整器の前記鎖錠のほか, 冷却用ターボファンの運転中にのみ励磁機セットを運転しうるとくし, ファン停止, 励磁機駆動用誘導電動機の過電流または過熱, または電源の停電などの場合には, 同期電動機および誘導電動機の油入遮断器を自動遮断し鎖錠すると同時に警報するようにした。また, 同期電動機の過電流または過熱の場合は, その油入遮断器を自動遮断し鎖錠すると同時に警報する。

40,000 A 母線は断路器により電解槽に接続されているので, 発電機の過電流に対する保護としては, 過負荷継電器によつてその界磁を無励磁にする方法を採らざるをえなかつた。発電機および電動機の軸受にはすべて警報接点付温度計を取付けてあり過熱の場合は警報する。

〔VII〕 試 験 成 績

金属黒鉛ブラシは黒鉛ブラシに比べてブラシ面のアタリをつけるのに非常に長時間を要するので, 無負荷連続運転によつて十分アタリをつけた後, 負荷電流を徐々に増し, 20,000 A においては 30 時間以上の連続運転を行つて, 整流, ブラシ磨耗, 温度上昇などを調べ, 最後に無火花整流帯を測定した。全負荷電流における無火花整流帯の幅は 30% 以上もあり, 予期以上の好成績がえられた。

各部の温度上昇は非常に低く最も高温度の部分は整流子で 55~58 °C であつた。ブラシ磨耗量は運転時間が短かいため正確な数値はえられないが, 1,000 時間当りに換算して約 5 mm くらいと推定される。

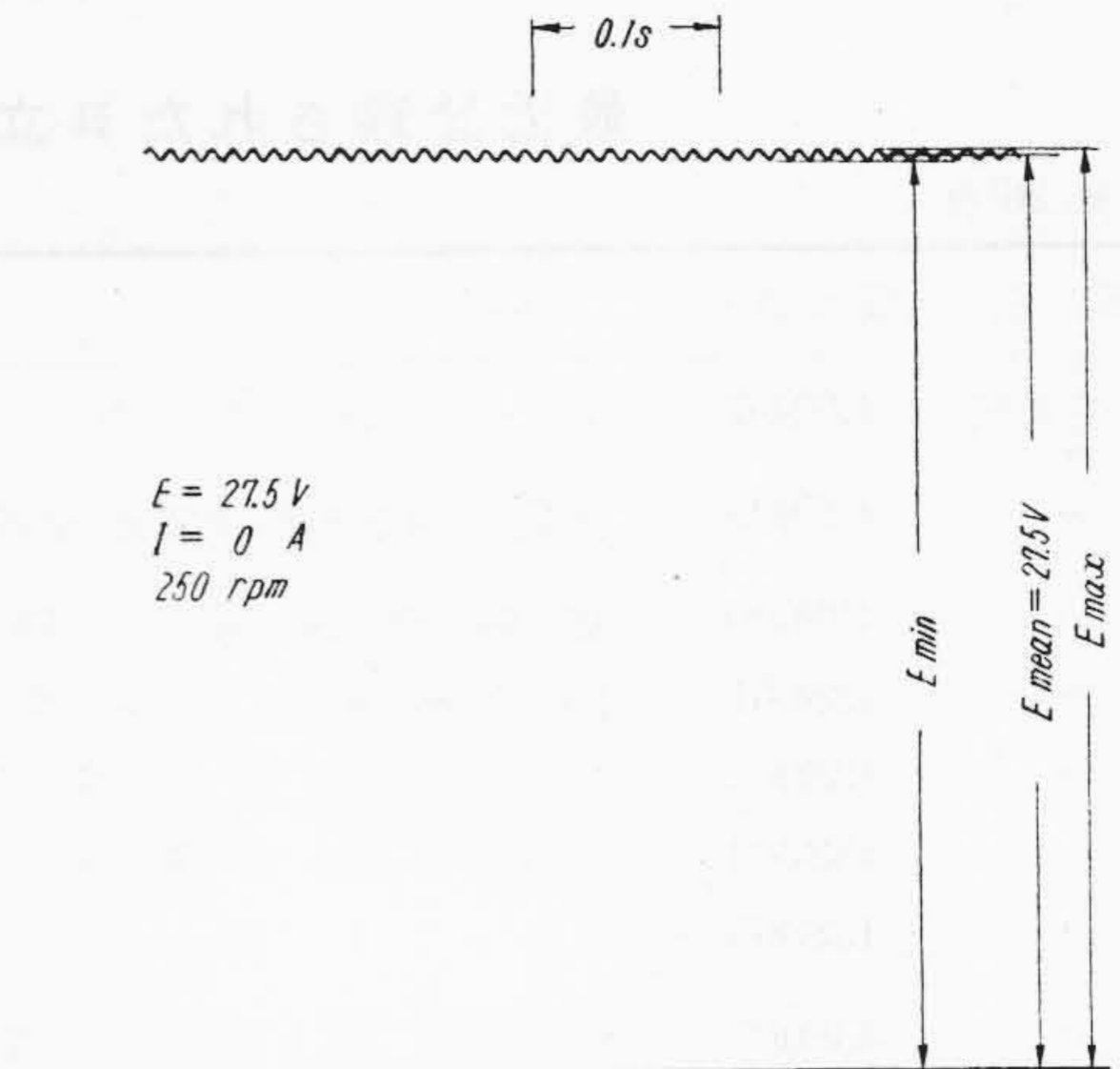
発電機 1 台の無負荷時の端子電圧をオシロに撮つた結果は第14図の通りで, 電圧脈動率は約 2.6% である。

効率は発電機 89.4%, 電動機 96.5% といずれも保証値を上廻り, 総合効率は 86.3% に達した。この値は従来, この種の電動発電機が到達しうると予想された値よりもはるかに高いものとする。

以上述べた通り, 工場試験はきわめて好成績を収めたのであるが, 現地における実負荷試験によつては, 並列運転も十分安定であることが確認され, 昭和30年5月以降, 全負荷電流 40,000 A にて引続き好調裡に運転中である。

〔VIII〕 結 言

以上, 40,000 A 電源設備について, 直流発電機を採用した理由, 本設備の特長および直流発電機の設計上特に考慮した点と構造について述べた。この発電機はなんら新規のものではないが, その設計に当つては各部に綿密



第 14 図 直流発電機の電圧脈動を示すオシログラム

Fig.14. Oscillogram Showing the Voltage Ripple of D.C. Generator

な検討を加えた結果, 電解用電源として十分満足すべき性能がえられたのである。

かかる新記録品が, 僅々 4 箇月の短期間をもつて完成し現地においても好調に運転を続けていることは慶びに耐えない。チタニウム製造工業の急速な発展が要望される折柄, 本機の稼動によつて Mg 生産量はいちじるしく増大するものと信じ今後の運転実績に大いに期待している次第である。

終りに臨み, 終始御指導を賜つた日立製作所日立工場 稲木電設部長, 山本直設課長を始め, 多大の御援助を戴いた山手製造部, 山手検査課の諸氏ならびにブラシについて御指導を戴いた日立研究所一木博士, またブラシ製造について御尽力願つた日立化工株式会社高橋工場長, 今井課長の諸氏に厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) F. Koppelman: E.T.Z. 5 395 (1953)
- (2) 電気学会:技術線説 電気機器 (上)
- (3) M. E. Poison: R.G.E. 44 605 (1938)
- (4) N. Winder: B.B. Review 27 155 (1940)
- (5) M. Zorn: E.T.Z. 61 358 (1940)
- (6) O. Contin; E.U.M. 48 641 (1938)

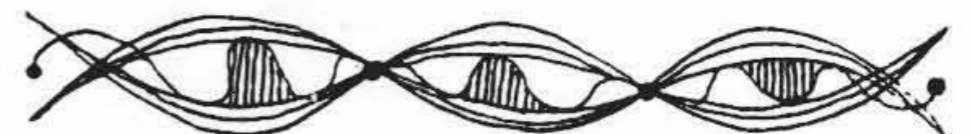
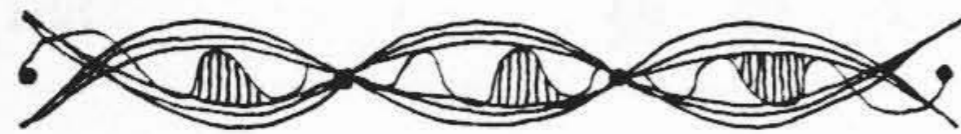
視界を拡大する

日立

工業用テレビジョン装置

電話機・交換機

日立製作所



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その3)

(第26頁より続く)

| 区別   | 登録番号   | 名称                    | 工場別  | 氏名             | 登録年月日    |
|------|--------|-----------------------|------|----------------|----------|
| 実用新案 | 437997 | 大電流用空気遮断器             | 日立工場 | 滑川 清           | 30.12.27 |
| "    | 437999 | 固定子回転起動型電動機固定子移動装置    | 日立工場 | 高大 木橋 義正 雄     | "        |
| "    | 438000 | 接触整流機の開閉操作部           | 日立工場 | 緑川 勝 弥         | "        |
| "    | 438001 | 接触整流機開閉操作調整装置         | 日立工場 | 緑川 勝 弥         | "        |
| "    | 438002 | 接触整流機開閉部調整装置          | 日立工場 | 緑川 勝 弥         | "        |
| "    | 438003 | 接触整流機開閉部調整装置          | 日立工場 | 緑川 勝 弥         | "        |
| "    | 438005 | ナット弛み止め装置             | 日立工場 | 滑川 清           | "        |
| "    | 438007 | 誘導電動機制御装置             | 日立工場 | 吉藤 岡 孝 幸 美     | "        |
| "    | 438009 | 発電機線輪保護装置             | 日立工場 | 三浦 倫 義         | "        |
| "    | 437977 | 飛沫給油装置                | 笠戸工場 | 山田 一 男         | "        |
| "    | 437955 | 渦巻ポンプの羽根車             | 亀有工場 | 岸野 俊 雄         | "        |
| "    | 437957 | 弾性油切り                 | 亀有工場 | 堂後 寿 彦         | "        |
| "    | 437958 | 液圧スルースバルブ開閉装置         | 亀有工場 | 山内 章 正         | "        |
| "    | 437959 | 水植作用軽減装置付逆止弁          | 亀有工場 | 田近 中藤 栄 澄 吉 雄  | "        |
| "    | 437960 | 水植作用軽減装置付逆止弁          | 亀有工場 | 田近 中藤 栄 澄 吉 雄  | "        |
| "    | 437964 | サドル型コールカッターチエン用締付リベット | 亀有工場 | 小盛 林 武 喜 八 郎 賢 | "        |
| "    | 437965 | サドル型コールカッターチエン用締付リベット | 亀有工場 | 盛 武 賢          | "        |
| "    | 437968 | 液圧制水弁の自動開度保持装置        | 亀有工場 | 宮崎 勇           | "        |
| "    | 438006 | 電動制水弁の過負荷防止装置         | 亀有工場 | 宮崎 勇           | "        |
| "    | 438008 | 液圧シリンダの完全液抜装置         | 亀有工場 | 山内 章 正         | "        |
| "    | 438010 | 2段作用操作弁               | 亀有工場 | 宮崎 内 章 正 勇 一   | "        |
| "    | 437984 | 軸封装置                  | 栃木工場 | 南部 誠 一         | "        |
| "    | 437940 | 圧力応動継電装置              | 多賀工場 | 北川 栄           | "        |
| "    | 437941 | 沈鐘型圧力応動装置のケース         | 多賀工場 | 北川 代 栄 滋       | "        |
| "    | 437951 | 直流電動機定速運転装置           | 多賀工場 | 上村 民 夫         | "        |
| "    | 437953 | 制御器操作杆復帰装置            | 多賀工場 | 古市 光 之         | "        |
| "    | 437954 | 往復動ポンプ                | 多賀工場 | 大岩 津 淵 卓 芳 郎 雄 | "        |
| "    | 437961 | 遠心分離機軸受潤滑装置           | 多賀工場 | 川崎 光 彦         | "        |
| "    | 437962 | 電子線絞装置                | 多賀工場 | 海野 義 昌         | "        |
| "    | 437982 | 洗濯機                   | 多賀工場 | 大益 屋子 三 三 郎    | "        |
| "    | 437987 | 洗濯機                   | 多賀工場 | 益子 三 三 郎       | "        |
| "    | 437988 | 洗濯機                   | 多賀工場 | 益子 三 三 郎       | "        |
| "    | 437989 | 洗濯機の攪拌翼駆動装置           | 多賀工場 | 林益 子 五 三 郎     | "        |
| "    | 437990 | 流量計発信器                | 多賀工場 | 島佐 田 藤 芳 稔 男   | "        |
| "    | 437974 | 隈取線輪付電磁石              | 亀戸工場 | 松田 幸 次 郎 浩     | "        |
| 実用新案 | 437975 | 隈取線輪付電磁石              | 亀戸工場 | 松田 幸 次 郎 浩     | 30.12.27 |

(第46頁へ続く)