

最近の大型2極籠形電動機

Recent 2-Pole Large Capacity Squirrel-Cage Type Motors

麻 生 豊*
Yutaka Aso

内 容 梗 概

2極籠形電動機は周速が速いため各部の遠心力が大きく、また起動時間が長く起動時の回転子の発生熱量も大きいから回転子の設計上強度、熱応力に特殊な考慮が必要である。大型になるにつれてこの傾向は増大するが、現在主として採用されている深溝型、二重籠形の特長を述べ、近年日立製作所で製作した1,000、1,300 kW 2極機の構造を紹介した。

1. 緒 言

産業設備の増大とともに大型電動機の需要も増加しているが、この中でも鋤炉、空気分離装置などのブロワや、デスケリング、ボイラ給水などのポンプには、おもに3,000～3,600 rpmの2極高速度電動機が使用される。過去において日立製作所ではわが国最大の5,500 HP 3,600 rpm 2極巻線型誘導電動機を製作した経験を有するが、一方設備容量が増加し、電力系統も強大となつて起動電流による影響が問題にならなくなつた結果、戦後ブロワ用1,300 kW 3,600 rpmをはじめ大型2極籠形電動機を多数製作しており、籠形機の需要は逐次増加しつつある。

誘導電動機の巻線型と籠形とを比較した場合、根本的相異は次の2点である。巻線型はスリップリングを有することが保守上の弱点となり、籠形はスリップリングを有しない代りに起動時の回転エネルギーに相当する熱量を全部回転子で発生することに起因する種々の問題がある。

巻線型は大型になるに従いスリップリングの周速が増大するが集電上許容周速に限度があり、また刷子数の増大は電流不平衡の問題を生じやすく、特に短絡装置を自蔵するものはこの部分に製作上の困難を伴う。籠形機ではいつさいこのような部分は不要であるが、他方回転エネルギーに相当する熱量は全部二次側導体で発生し、これは運転回転数の2乗に比例して増加するものであり、起動時に導体温度が上昇して各種の熱応力を生ずる結果となるから、回転子は強大な遠心力に耐えるほかに十分に上記熱応力を考慮した構造にする必要がある。

以下、先般完成したブロワ用1,300 kW、ポンプ用1,000 kW 電動機の構造を紹介し、最近における大型2極籠形電動機の構造と特長を述べる。

2. 回転子の構造

回転子のスロットの形状にはいろいろあるが、大型2極機に採用されているのはおもに深溝型と二重籠形であ

る。

2.1 深溝型回転子

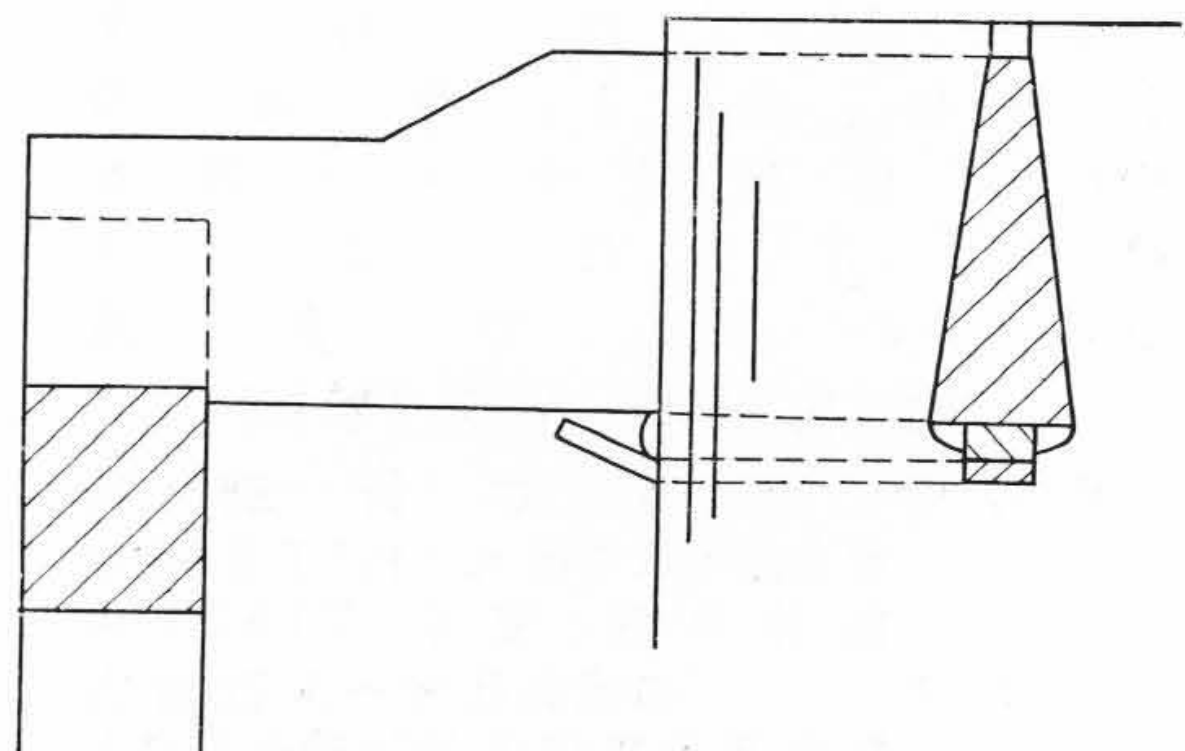
普通第1図のような梯形溝である⁽¹⁾⁽²⁾。スロットと導体バーとは同一形状とし、スロットに導体バーを挿入後、導体バーの下部にコッタを打込んで鉄心の溝面に固着する。この場合スロットのテーパと導体バーのテーパとは精密に合わせるように工作することが必要で、コッタを打込んだ後はこの面は十分に密着していなければならない。

公知のように導体内では、起動時の電流分布は上部で最大で底部になるにしたがつて減少しているから、温度分布も上部が高く底部が低い。積層した鉄心が不整であつたり、鉄心と導体との接触面に隙間があると熱の放散が悪くなり、導体内の上下の温度差により上面は圧縮、底面は引張りの熱応力が生ずる。これが問題にならないように精密に工作して熱伝導を高め、導体バーの温度上昇を極力押えるのである。

籠形電動機は次式に示す量の、負荷トルクと慣性モーメントに相当する熱量を回転子導体で発生する。

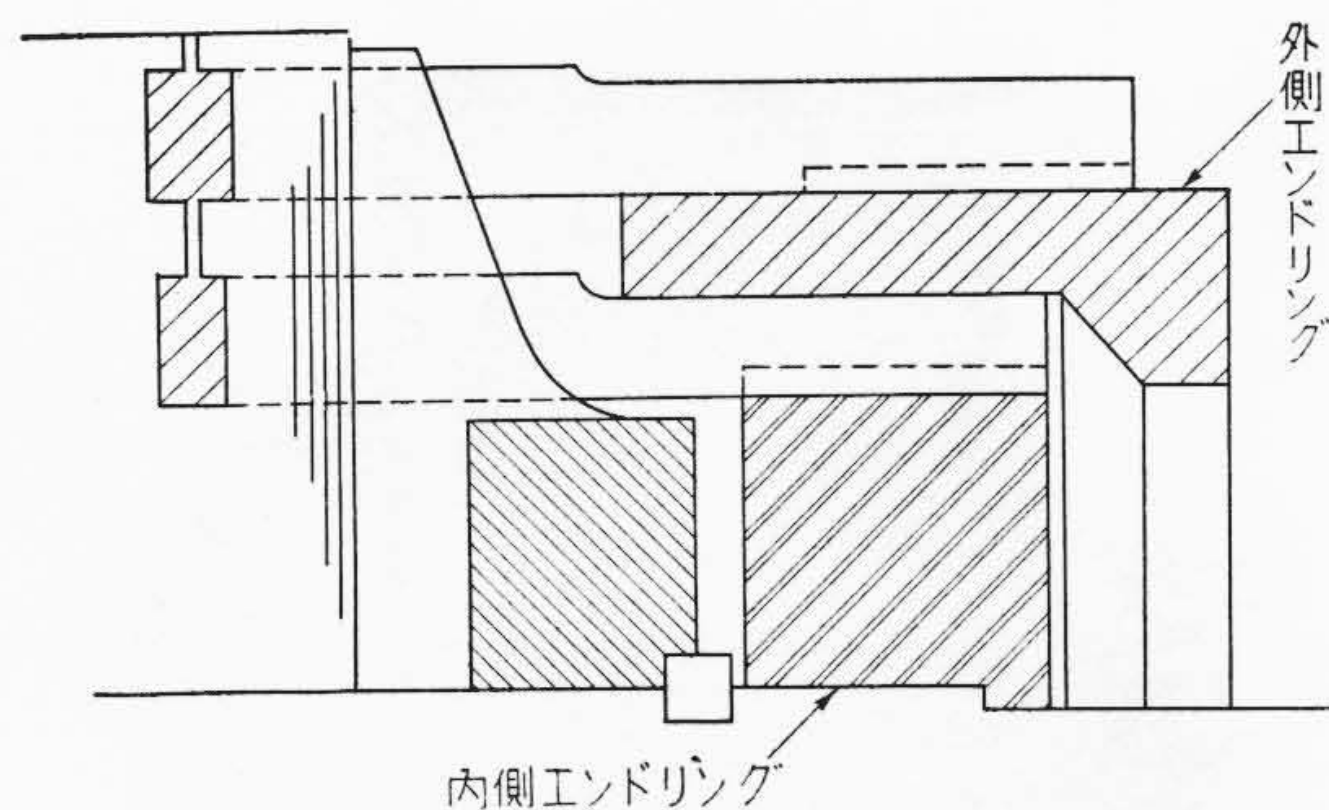
$$Q = \frac{1}{2} I \omega^2 \left(1 + \frac{1}{\frac{T_M}{T_L} - 1} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここに Q : 導体発生熱量 (Ws)
 I : 慣性モーメント (kgms²)
 ω : 角速度 (rad/s)
 T_M : モータトルク (%)



第1図 梯形深溝型回転子の構造

* 日立製作所日立工場



第2図 二重籠形回転子の構造

T_L : 負荷トルク (%)

精密に工作することにより導体の温度上昇は、熱放散がないと仮定した場合の上記熱量による温度上昇の約 $1/3$ 程度に下げることができる。

2.2 二重籠形回転子

第2図に示すようにスロットが二重籠形をなしたものであつて、エンドリングはおのおの外側、内側導体バーに別々に取り付けられる。同図には端部の構造も示してあるが、この場合も導体バーと鉄心との隙間が大きいと振動の原因となるから、できるだけ工作の精度は高めなければならない。

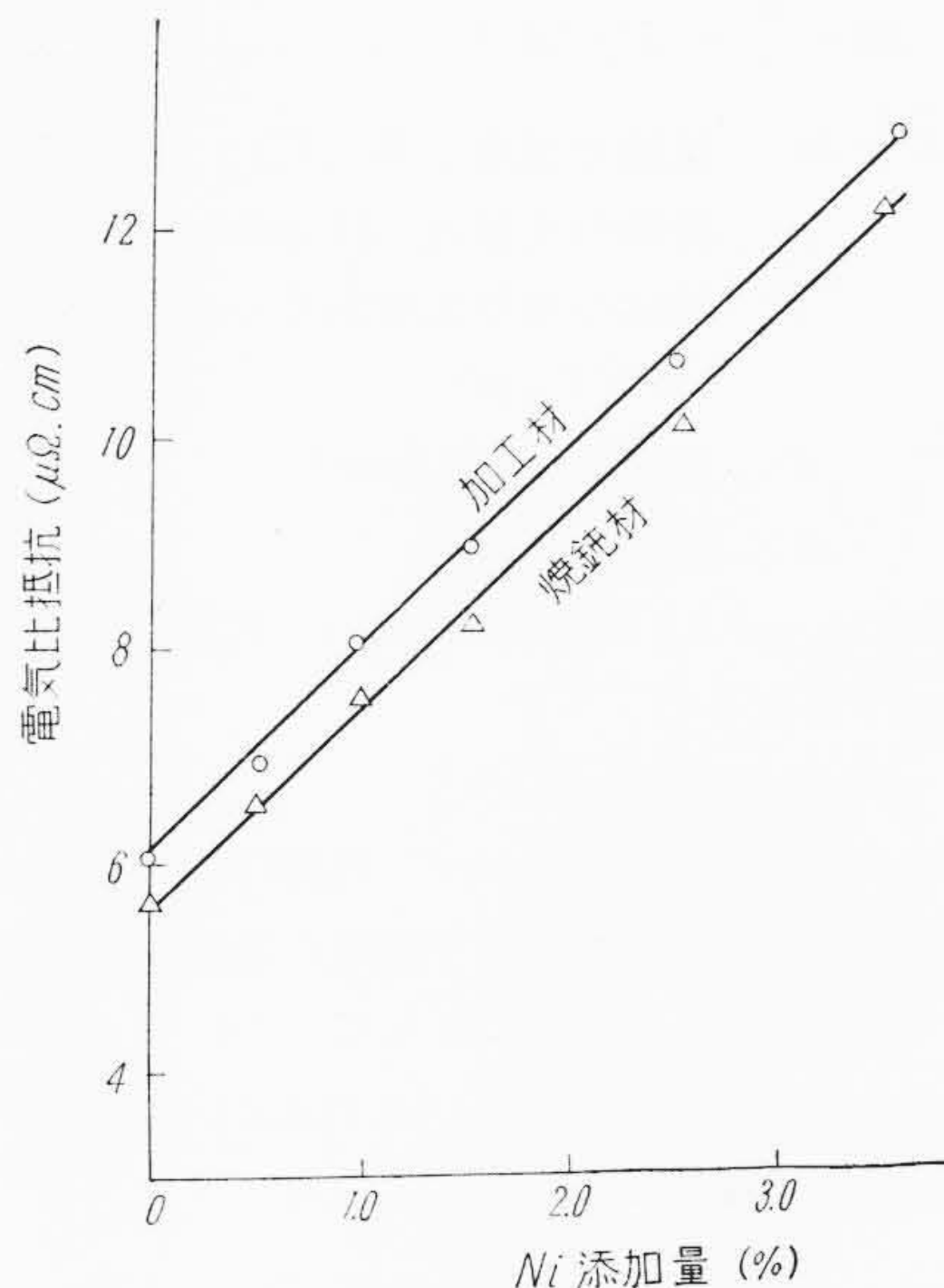
二重籠形と深溝型とはいずれも同じような起動特性をもつが、前者は起動時スリップの大きいときはほとんど外側導体により、また運転時のスリップの小さいときは内側導体により、特性が決定されるから設計上の自由度は梯形よりやや大きい特長があり、また導体バーの電流分布の不均等を避けることができる。

外側導体バーは比抵抗の高い特殊銅合金、内側導体バーは硬銅で作られて固くスロット内に挿入され、それぞれのエンドリングに鉗付けされる。(1)式の起動時に発生する熱量による温度上昇は外側導体（エンドリングを含み）の熱容量を十分大きくとることによつて、温度上昇は低く抑えている。日立製作所では 1,300kW 3,600 rpm のものをこの方式で製作した。

2.3 エンドリング

導体バー端部の短絡に使用するエンドリングは遠心力に耐える十分な強度が必要であり、遠心鋳造後鍛造したつなぎ目なしのものを使用する。

公知のように起動トルクは二次抵抗で左右される。必要な抵抗が導体バーのみで十分なときは、エンドリングの抵抗を小さく選定すればリングの熱膨脹も少なく済むが、エンドリングに抵抗の一部を負担させる場合は、機械的強度のほかに、熱容量およびトルクから必要とされる電気比抵抗を有する特殊な材質を選定製作されなければならない。



第3図 Zn-Cu 合金に Ni を添加した場合の電気比抵抗の変化

回転子導体に使用する銅合金についても、日立製作所では各種の研究を行いみずから製作している。たとえば第3図は Zn と Cu とからなる真鍮に、Ni を添加した場合の電気比抵抗の変化を示した一例であるが、Ni 添加量の増大とともに機械的強度は増すとともに図示のようにほぼ直線的に電気比抵抗も増加する。これにさらに特殊金属を添加することにより、引張強さ、降伏点、伸びなどにおいて満足すべき機械的性質を示すほかに、所望の電気比抵抗を有する材料が得られる。

内側エンドリングの強度は外側ほどには必要ないが、端部の軸長を短くするために抵抗の小さいものが望ましく、抵抗を増加せずに強度の大きい特殊銅合金を使用している。

3. 固定子線輪

籠形電動機は起動時に定格電流の 4～5 倍の電流が流れ、その継続時間は容量の大きいものでは 1 分近くなる場合がある。この電流は起動ごとにくり返されるから、固定子線輪はこれによる力や機械的振動のほかに、温度上昇にも十分耐えるよう設計されなければならない。起動電流は線輪端を半径方向に押し拡げようとする力を生ずるから、固定子スロットの挿木は十分強い材料で製作されるほかに、線輪端は 2 極タービン発電機と同じようにがんじょうな線輪ささえに強固に緊縛されている。

起動電流による固定子線輪の温度上昇はほぼ次式で求めることができる。熱放散を無視するとジュールの法則から

$$\Delta\theta = \frac{\rho}{c} \delta^2 \cdot \Delta t \times 10^{-4} \dots\dots\dots (2)$$

ここに $\Delta\theta$: 線輪の温度上昇 (°C)

ρ : 線輪の比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$)

c : 線輪の単位体積あたりの熱容量
(Ws/°C cm³)

δ : 電流密度 (A/mm²)

Δt : 通電時間 (s)

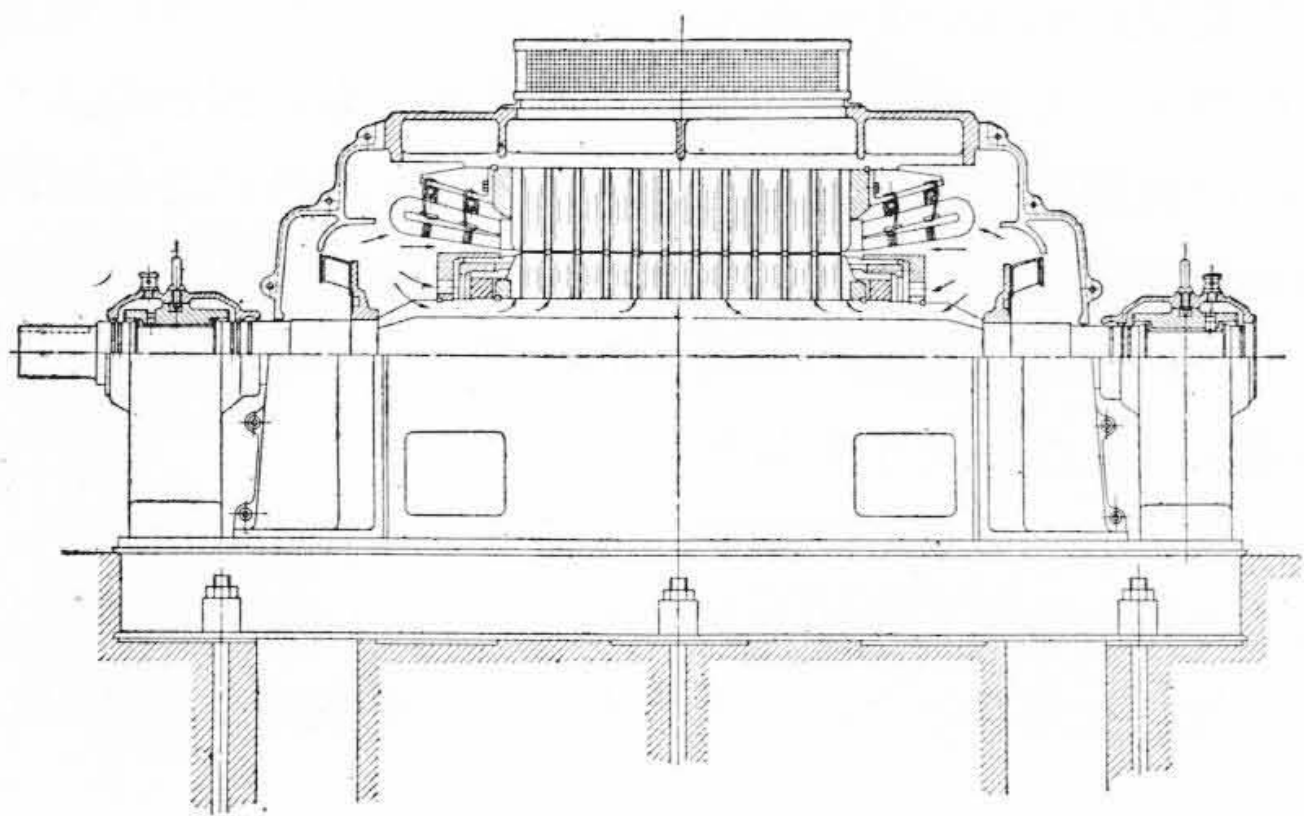
銅の場合は $\rho = 2.1 \times 10^{-6}$ ($\Omega\text{-cm}$) (軟銅75°C), $c = 3.5$ Ws/°C cm³ をとると

$$\Delta\theta = 0.006 \times \delta^2 \cdot \Delta t \text{ (°C)} \dots\dots\dots (3)$$

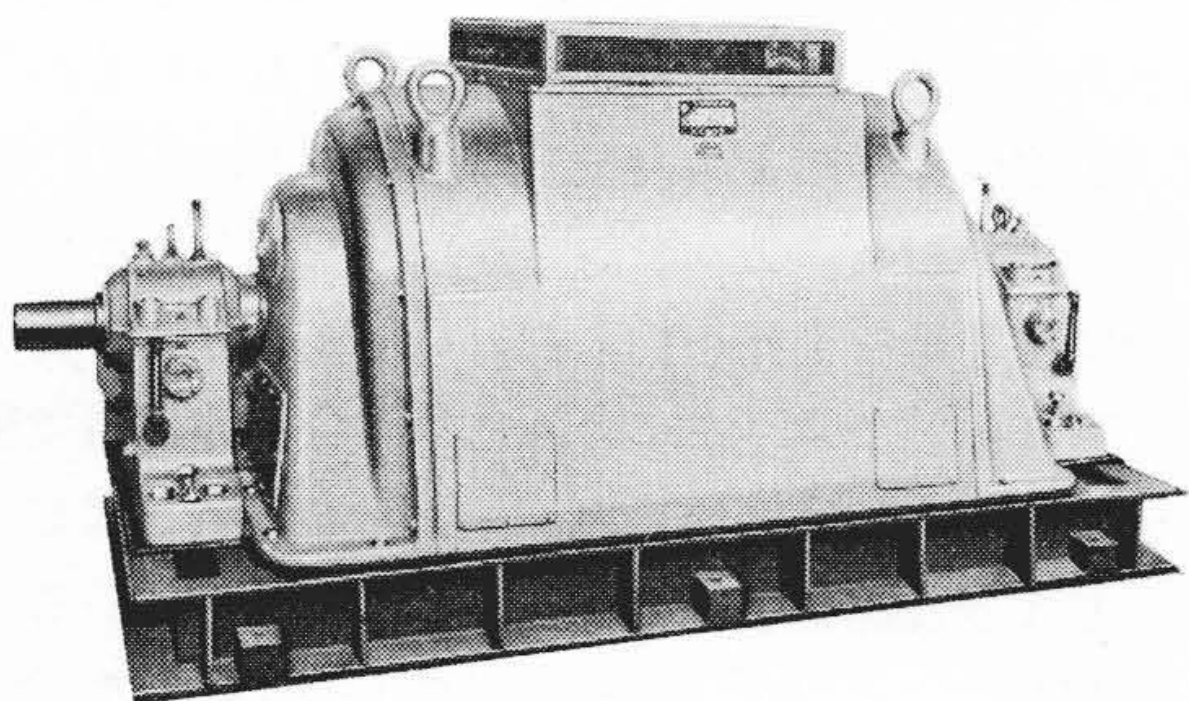
たとえば電流密度 20 A/mm², 起動時間20秒のものでは熱放散を考慮しないで固定子線輪の温度上昇は約48°Cである。普通はあまり問題にならないが、ブロワのようGD²が大きくて起動時間の長いものとか、起動のひんぱんなものでは電流密度を低く設計する。

4. 製作の実例

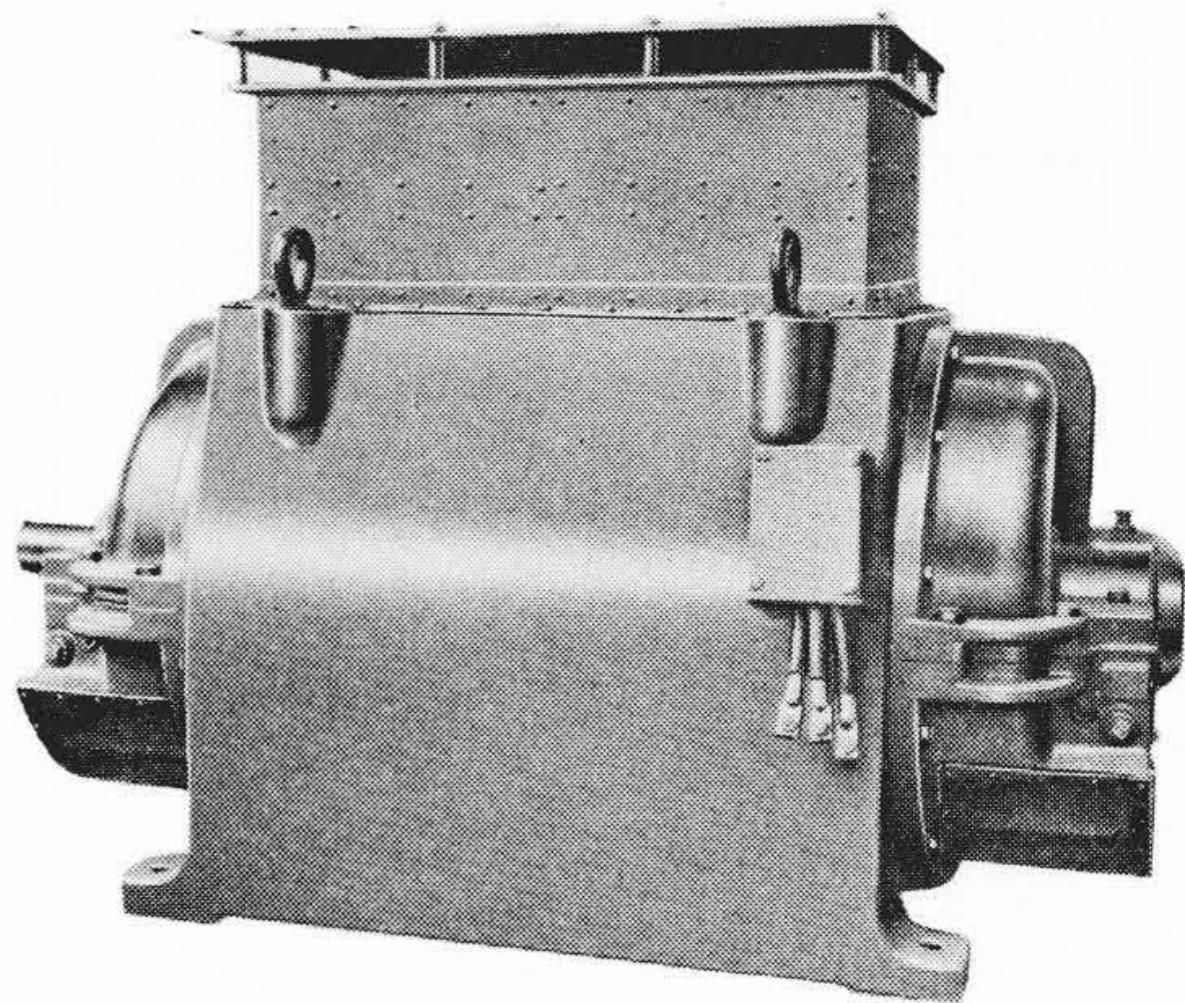
第4図は山陽化学工業株式会社宇部工場に納めた空気分離装置ブロワ用 1,300 kW 2極 3,600 rpm 電動機の構造を示したもので、第5図はその外観である。本機は閉鎖通風ペデスタル軸受型で、冷却風は回転子の両側に取り



第4図 型式 EFBL-KK 1,300 kW 3,300 V 60~
2極 3,600 rpm 籠形誘導電動機の構造



第5図 型式 EFBL-KK 3,300 V 60~ 2極
3,600 rpm 籠形誘導電動機



第6図 型式 EFL-KK 1,000 kW 3,000 V 50~
2極 3,000 rpm 籠形誘導電動機

り付けられたラジアルファンによりモータ内部に押し込まれ、その一部は固定子線輪端部を冷却し、大部分は回転子軸に設けられた風溝と、固定子、回転子間のギャップを通つて、固定子ダクトを通り固定子鉄心背面を冷却しながら外部へ放出される。入気側は床下の風洞につながり、電動機上部より室内へ排気する構造になっている。起動は起動補償器により減電圧起動を行う。

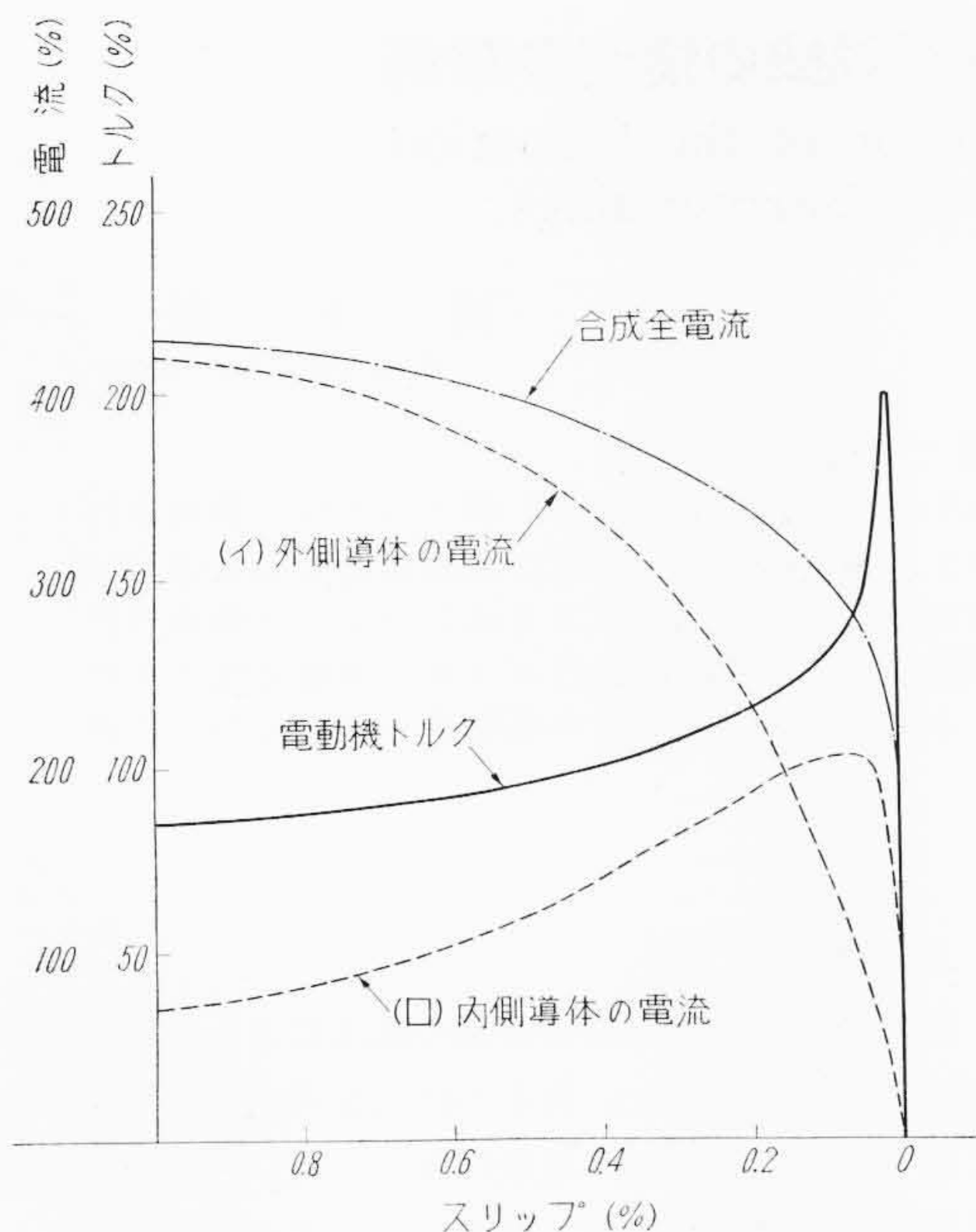
固定子線輪は耐熱耐アルカリ性特殊ワニスで処理したB種絶縁であつて、コイルささえリングに強固に緊縛されている。

第6図は東京電力株式会社第二鶴見および新東京発電所に納めたボイラ給水ポンプ用 1,000 kW 2極 3,000 rpm 電動機である。閉鎖通風エンドブラケット型で、入排気口にそれぞれ消音装置を設けてある。

以上の電動機の回転子は、いずれも前述の二重籠形であつて第7図はその外観である。回転子鉄心は軸に直接嵌入され、鉄心外の回転子端部には、エンドリングおよび導体バーの外側に強力な非磁性鍛鋼のプロテクトリングを嵌入して内部を保護せしめている。



第7図 二重籠形回転子



第8図 1,300 kW 2極電動機の起動時のトルク電流の変化

5. 二重籠形の起動特性

起動時の特性は、深溝、二重籠形ともほぼ類似した傾向を示し、電流またはトルクとすべりの関係はそれぞれ複雑な関数式で表わされる。第8図は前述の 1,300 kW 電動機的全電圧起動のときの特性を求めたもので、実線はトルク—すべり曲線、点線は電流—すべり曲線を表わす。図示のように起動電流は定格電流の 429%，起動トルクは 85% であつた。

二重籠形では、起動電流は最初はほとんどで外側導体を流れるが、すべりが減少するに従い内側導体の電流が増す。1,300 kW の場合について算出したものが第8図の(イ)、(ロ)曲線であつて図で、定格電流を 100% として表わしている。したがつて(1)式に相当する発生熱量は内側導体も負担し、外側導体が発生するエネルギーは、全エネルギーではなくてその値は設計によつて異なるが全体の約 70~90% である。

6. 結 言

以上、最近の大型2極籠形電動機の構造と特長を述べた。この級のものは梯形深溝型回転子が多いのであるが、日立製作所では二重籠形で製作し、二重籠形の実用分野を拡大したものである。

巻線型回転子は絶縁物の寿命が遠心力、振動など機械的影響を受け、また絶縁物により熱放散が妨げられる。籠形回転子はこの点有利であり、かつ保守も容易である。この利点は2極機においては特に著しい。今後この種の電動機はますます増加し、その容量も増大する傾向にあるが、既述のように籠形は巻線型には生じない別の問題を包含しており、特に大型高速機では計画の最初に十分負荷の性質を検討して設計、製作することが必要であり、運転保守の面では十分電動機の特性を理解して使用することが望まれるのである。

終りに、種々指導を受けた日立製作所日立工場稲木、高木部長、桜井課長、他材料、工作の研究に協力いただいた方々に深く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Walter Schmitt: AEG Mitt. 46, 93 (1956)
- (2) 藤田: 東芝技報 22, 505 (昭 18-10)



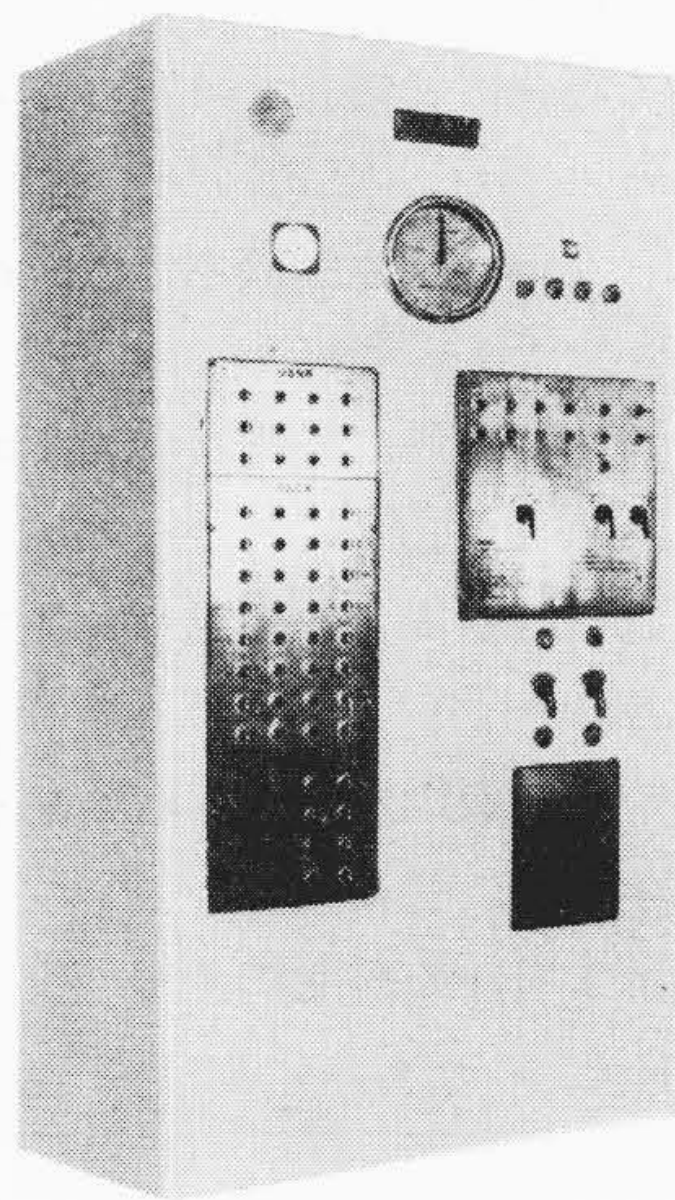
製 品

紹 介



東京電力株式会社納 スートブロワ自動運転用接触器 キュービクル

本機用42台のスートブロワをあらかじめ定めておいた順序に、自動的に運転する操作盤兼用の接触器キュービクルで、このほど日立製作所亀戸工場にて製作され東京電力株式会社に納入されたものである。



第1図 自動運転用接触器キュービクル