

最近の高速大容量誘導電動機に就いて

麻 生 豊*

Recent High Speed Large Capacity Induction Motors

By Yutaka Asō

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

At the Hitachi Works of Hitachi, Ltd., 3,000kW 3,600 r.p.m. induction motor was completed last year and in its succession, the construction of 2,200 HP 3,600 r.p.m. machine is underway. The writer details in the article the construction and engineering technique of this type of high speed large output motors. To mention some of it: By the overall adoption of welding, the weight is reduced considerably; ends of the stator coil as well as the rotor are shaped in special form for a better draught; the rotor coil is secured in position by using effective protective ring instead of bind wire, in a type resembling the construction of turbo-generator; the slip ring is provided with inclined slots to prevent abnormal wear of the brush, and by dint of special structure the temperature rise in this part is kept extremely low. Furthermore, the motor size is successfully reduced by designing the motor for the high bearing pressure.

〔I〕 緒 言

戦後、火力発電所、鉱山、製鉄製鋼所、化学工場等の各種施設の復旧、拡張が活発となるに伴い、給水ポンプ、ターボブロワ等の駆動用として、再び高速大容量の誘導電動機が要求されるようになって来たが、更に近年は送電容量が増大したために、従前はタービン駆動だったものも、この種電動機に置換えられる趨勢にある。

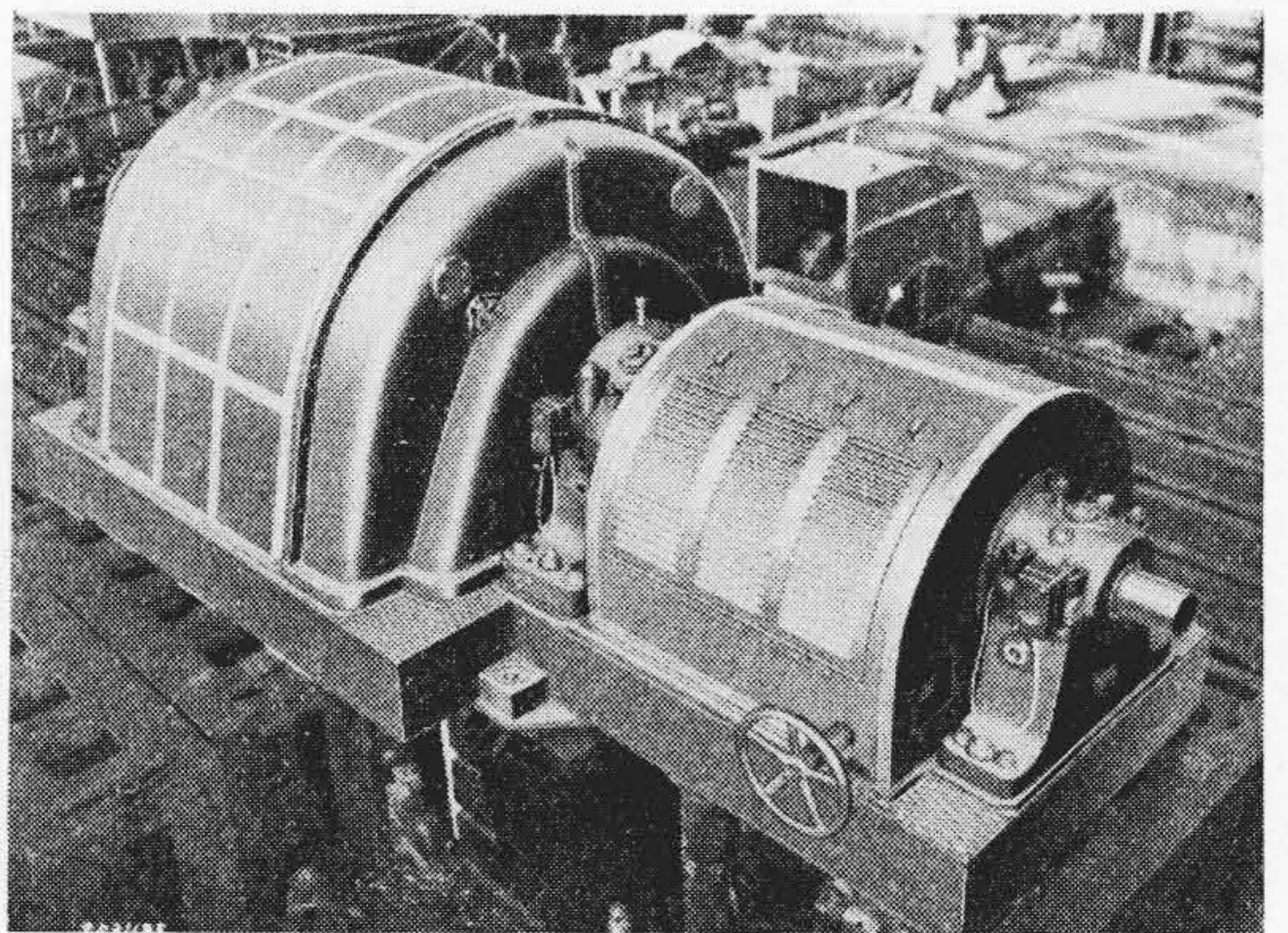
誘導電動機は高速大容量になるに従い

- (1) 回転子の機械的強度
- (2) 回転子を機械的に頑丈にするため及び空隙の小さなために生ずる線輪冷却の困難
- (3) 振 動
- (4) 摺動速度増大に伴う刷子及び滑動環の問題

等の諸問題を生じ、材料及び工作技術の改善は勿論、その構造、冷却方式等に各種の新構想が採用されるようになった。

日立製作所に於ては、戦前、中山製鋼納 5,000 HP、富士製鉄納 4,500 HP、朝鮮石灰工業納 4,000 HP 等いづれも 3,600 r.p.m. の大型機を製作して来たが、最近

* 日立製作所日立工場



第1図 EFUBL-ERQ 3,000 kW 6,300 V
3,600 r.p.m. 誘導電動機

Fig. 1. Type EFUBL Form ERQ 3,000 kW
6,300 V 3,600 r.p.m. Three-Phase
Induction Motor

八幡製鉄納 3,000 kW 3,600 r.p.m. を完成し(第1図)、更に丸善石油納 2,200 HP 3,600 r.p.m. を製作中であり、この機会に最近の高速大容量誘導電動機の構造、工作技術の進歩の概要を紹介する。

なお八幡製鉄納 3,000 kW 3,600 r.p.m. 誘導電動機の仕様及び性能は下記の如くである。

型	式.....EFUBL-ERQ (D兼用) カバー付電動短絡式
出	力.....3,000kW
定	格.....連続
電	圧.....6,300 V
周	波 数.....60~
極	数.....2 極
回	転 数.....3,600 r.p.m.
調	速 範 囲.....100~70%
過	負 荷 容 量.....100% 1 min
保	証 能 率.....94.5%
力	率.....94.0%
滑	り.....0.5%

〔II〕 構造の概要及び冷却方式

誘導電動機は一般に空隙が狭いから、冷却は他の電気機械に比べると遙かに困難である。冷却方式より誘導電動機の構造を分類すると次の3種類がある。

- (1) 回転子軸に冷却用ファンを設ける場合
- (2) 局部過熱を防ぐための最小のファンを残して、外部に冷却用ファンを設ける場合
- (3) 以上2種の混合

高速大容量機に対しては、(1) が普通的方式であるが、冷却ファンとしては軸流ファンを取付ける場合が多い。(2), (3) は速度制御をする場合とか、特に高能率を要求

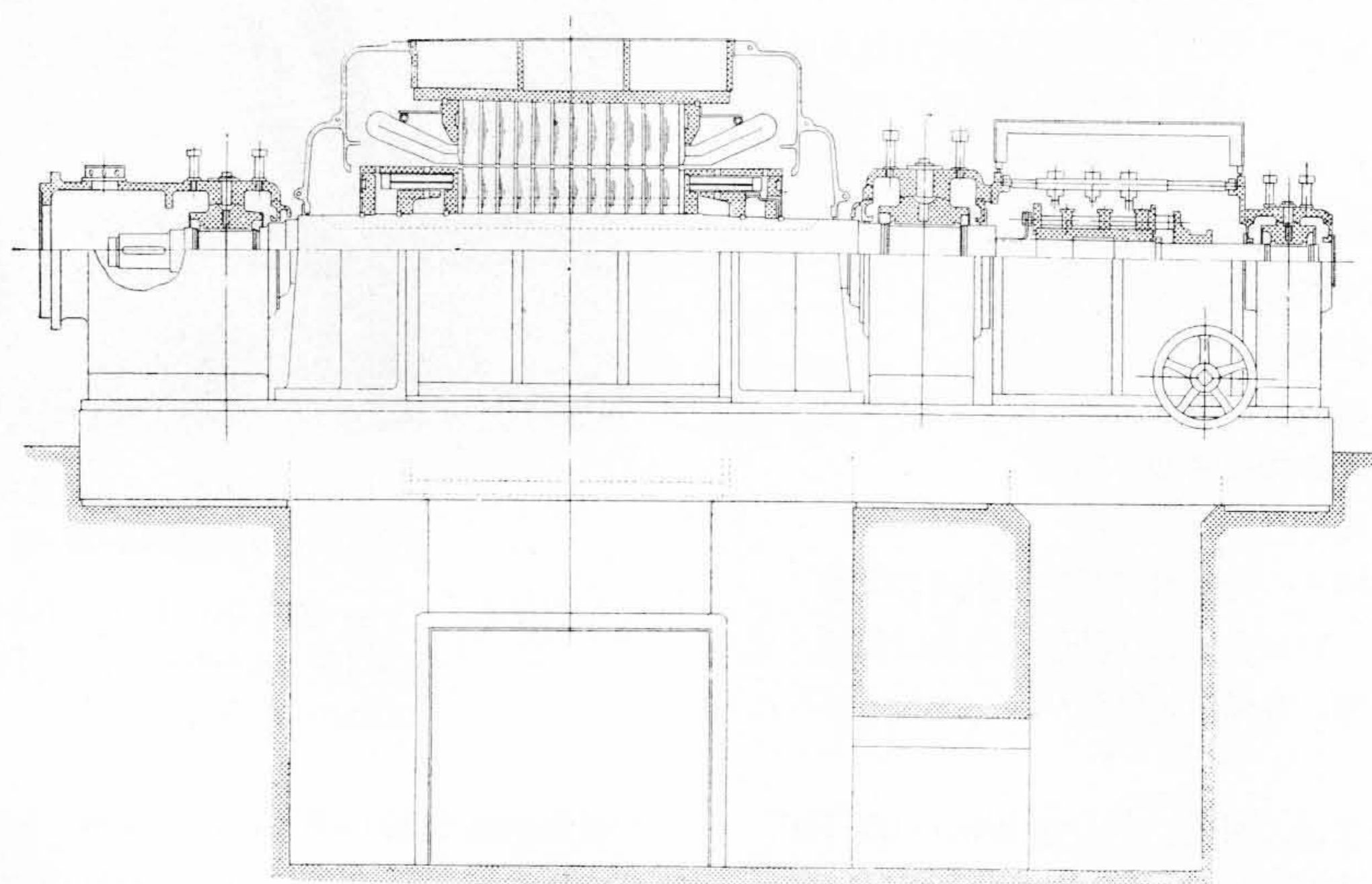
する場合に採用する方式であつて、最近はこの方式を採用の傾向が強くなっている。

速度制御を行うものは、負荷の性質に依つては、軸に取付けたファンだけでは低速で風量が不足して来るようになるおそれがあるが、もし最低速度で必要な風量を出し得るようにファンを設計すると、全速では機械の能率が極めて悪くなるので、制御範囲の極く狭い場合を除いては普通(2)又は(3)の方式を採用するのが得策である。外部ファンにより冷却を行う場合は、(1)の方式によるよりもファンの能率も良いものを使用出来るので、機械全体としての能率も良く、又機械の軸方向の長さもそれだけ短かくて済む訳であるが、ファン駆動用の設備を別に必要とし、又ファンに故障を生じた場合は、電動機は、それ自身だけでは冷却能力が不十分であるから、この場合には軽負荷運転する必要がある。

スリップリングの冷却は、本体の外部ファンと共用する場合と、特に専用のファンを設ける場合とがある。

冷却空気の風道の入口には、普通空気清浄機を置いている。

第2図は外部ファンによつて冷却を行う場合の電動機の構造を示したもので、冷却空気は空気清浄機を通つて、基礎下部の風道を通り、両端のエンドカバー下部より電動機内に入り、一部は固定子線輪端部を冷却して固定子鉄心背部へ抜け、他の一部は軸の通風溝及び回転子鉄心の通風孔を通つて回転子へ入り、固定子鉄心ダクトを通つて鉄心背部へ抜け、前のものと一緒に鉄心の背部を冷却しながら固定子枠を通り、地下風道より室外へ排出される。



第2図 最近の高速大容量誘導電動機の構造

Fig.2. Construction of Recent High Speed Large Capacity Induction Motors

〔III〕 固 定 子

最近の大型機の特徴は、熔接技術の進歩に負う所が大きい。高速度機にあつても、ベースを始め、以前には鋳鉄、鋳鋼で作られた部分の大半は、鋼板熔接構造に置き換えられている。材料の信頼度が増大する結果、重量が著しく軽減するのは当然であるが、製作工数も大いに低減されている。

固定子の構造は、高速機であるから、振動に十分耐えられるように強固に設計されることは勿論であるが、2極機の線輪端は多極機に比べ遙かに長くなるから、軸方向の長さを極力短くするために、エンドカバーは線輪端に接近して設計する。従つてエンドカバー、ベースの一部等の線輪に接近する箇所は、すべて非磁性材料を使用している。

前述の通り、最近では外部に冷却ファンを置いた所謂他冷却式が採用される傾向にあるが、この場合は第2図に示すように、固定子線輪は、その両端部を跳ね上げて線輪の通風を十分にし、かつ又軸方向の寸法を縮めるように考慮している。線輪は勿論型巻で、端部はインボリュートを描いており、かつ振動に耐えられるように線輪支えに十分強固に緊縛する。

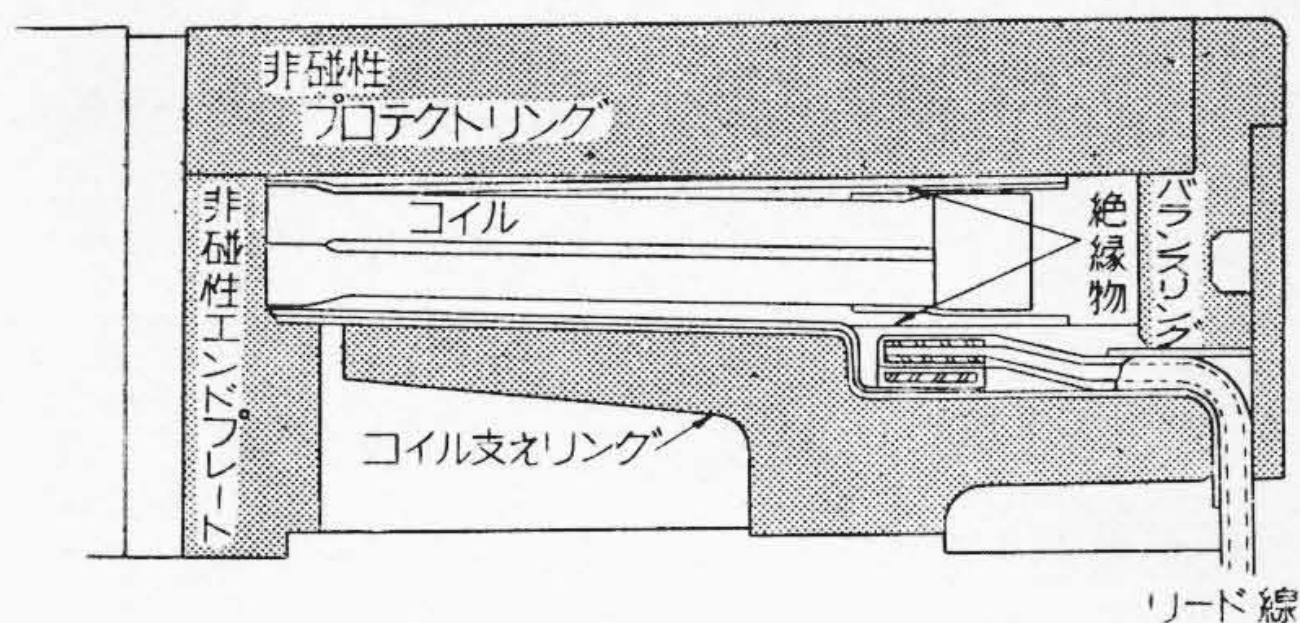
〔IV〕 回 転 子

回転子は定格速度に於て、周速 130 m/sec、過速度時には 160 m/sec を越えることは珍しくない。即ちこの周上にある重量 1 kg の物体は 7,800 kg 以上の遠心力を受けるのであつて、回転子に使用する各部品の材料の選定、工作は特に慎重になされなければならない。高速大容量機の設計上の苦心は、殆どこの回転部分に費やされる。

鉄心材料は比較的容量の小さいもの以外は、D鉄板又は特殊珪素鋼板に依らなければならない。今回完成した 3,000 kW 3,600 r.p.m. の回転子鉄心は、特に八幡製鉄の御協力を得て作られた Si-Ni 鋼板を使用した。珪素鋼板は一般にロール方向と直角方向とでは、強度及び伸びが異なるから、これが平均になるように配慮して軸に直積みして行くのである。

回転子各部の構造の大略は、第3図に示したようなものである。

コイル支えリング、エンドプレート、バランスリング等は、すべて鍛造荒仕上げしたものを超音波探傷機により、内部に巣や疵の無いことを確かめた後、機械作業に掛けるのであるが、その際は重量不平衡による振動の原因を作らぬように、溝、ネジ孔等の寸法、ピッチの工作は特に正確にする必要がある。ダクトピースは一枚の鋼板より削り出す。渦流により過熱するおそれのある箇所は、すべて非磁性材料を使用している。スロット楔は自家製の



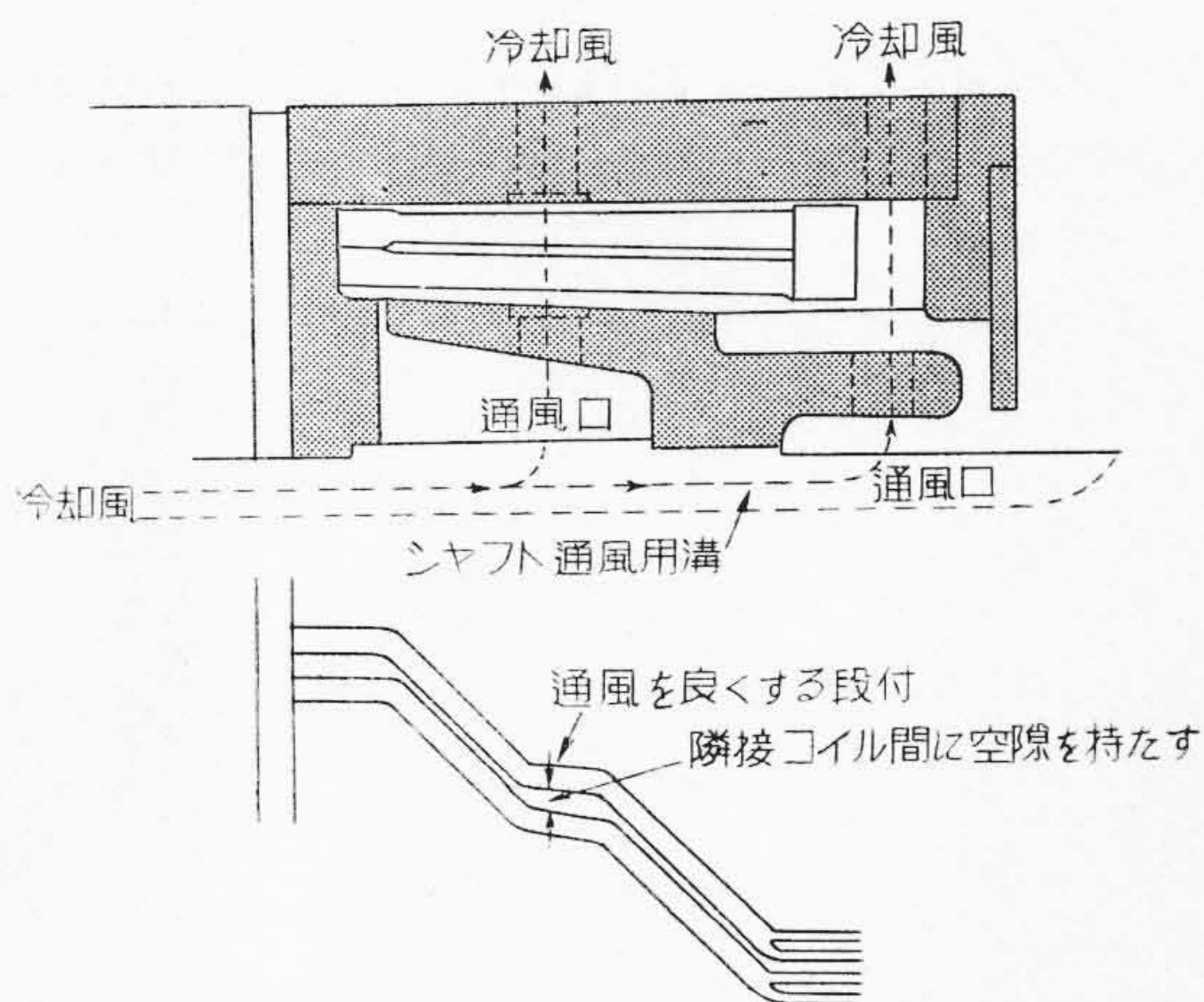
第3図 回転子線輪端

Fig. 3. Rotor Coil End

スタンドライト積層板、又はガラス基材ポリエステル積層板で、特に耐衝撃性のもので高速度に十分耐えることの出来る接着力の強いものを使用する。

このようにして作られた部品を、第3図に示すように組立て、線輪外側の銅張絶縁を固く焼付け、最後に強力な非磁性保護環を嵌入する。戦前は線輪端のクランプには、非磁性緊縛線を使用した。最近では保護環による方式を全面的に採用している。従つて固定子及び回転子の構造は最近のターボ発電機に似た外観になつている。口出線は一般には軸を中空にしてその中を通すのが普通のやり方であるが、本機は軸に溝を切りその中を通し、その上をシャフトカラーで保護する。この方式によれば軸中の口出線の絶縁を完全に行うことが出来、且つ完全に固定することが出来るので、絶縁の点からも、振動の点からも信頼度が高くなる。これに使用するカラーは荒仕上げしたものをシャフトに焼嵌してから軸の他の部分と完全に同心に仕上げられる。

高速度機の回転子は、機械的に頑丈に保護する必要から、又軸方向に長大で冷却が困難である点から、運転中温度が高くなり勝ちであつて、その通風には特に注意する必要がある。第4図は、現在日立製作所が採っている



第4図 回転子線輪端冷却方法

Fig. 4. Cooling Method of Rotor Coil End

回転子線輪の通風法を示したもので⁽¹⁾⁽²⁾、保護環及び支持金具の全周数箇所に通風孔を設け、通風箇所の線輪は図示のように、特に間隔を大きくとつて冷却効果の向上を計っている。

〔V〕 スリップリング

容量が大きくなると、二次誘起電圧、電流が増すので、スリップリングが大きくなるのは当然であるが、高速度機では材料強度の点及び刷子の振動の点より風速を或る範囲におさえるため、軸方向に長くなつてくる。従つて 700~1,000 kW 迄はオーバーハングさせるが、それ以上のものでは、電動機の軸受は 3 箇にする方が振動その他の点で信頼度が高くなる。又高速であるためにスリップリングの周速は極めて高く、機械的にも電氣的にも設計上苦心する所である。

スリップリングは 1,500 kW 以上のものでしかも常時速度制御を行うものでは 6 箇として一相のリングを軸方向に 2 箇に分割することによりリングの外径を小さくしている。従つて刷子の摩擦損失は少なく刷子の磨耗による取換回数を減少するように考慮されている。外周には斜向溝を切つているので電流の不均衡配分による過熱、火花発生等の心配はない。又この種高速スリップリングに対しては、刷子材質の選択も重要な問題であるが、日立製作所では研究所に於ける多年の研究成果と、刷子の自家生産の経験に基きこの種高速機に最適の刷子の特製し、磨耗、火花等の問題を完全に解決している。なお刷子圧力は溝切りリングの場合には摩擦損失の増加を考慮して普通の場合よりは低くとつており、リングには冷却孔を設けてある。刷子保持器は耐振型の頑丈な設計であり、保持器取付環は鋳造品であつて、機械仕上後 2 分し、組立に便利な分割構造をとつている。

短絡装置の回転部分、スリップリング、ターミナルボルト等は高速度回転体であるから、回転子同様に入念に作業する必要がある、熔接、鍛接等は行わず一体のものをを用いる。

スリップリング自身にもバランスリングを取付けて、

機械全体としてのバランスを取り易い構造をとつている。

リングの外周に溝を切つており、通風孔も設けてあるので、スリップリング自体冷却能力を持つているのであるが、大容量機では普通は更に外部から専用ファン又は本体冷却用ファンより空気を導入して、冷却を計つている。

二次回路を短絡するために、鑑戸カバー内に自動短絡用電動機を設けてあり、本体が運転に入ると同時に起動し、歯車を介してフオークを移動せしめて、スリップリングを短絡する。

〔VI〕 軸 受 給 油 方 式

この種大容量機になると軸受の冷却は、オイルリング又は水冷式では不十分であつて、強制給油方式が採用される。油圧は 1~1.5 kg/cm² が普通である。

ターボブロワーのように、慣性モーメントの特に大きな負荷に連結される場合は、停電その他給油装置に故障が生じた場合に、停止する迄に相当の時間がかゝつてメタルを焼く恐れがあるから、ヘッドタンクを設けて、その危険を避ける方式を採らなければならない。この場合はブロワー及び電動機の各メタルは共通の配管となる。

最近給油方式として、電動機又は負荷側にギヤポンプを直結し、起動の最初はオイルリングで潤滑し、回転の上昇と共に、ポンプ給油する方式も行われている。

〔VII〕 結 言

以上今回完成した八幡製鉄所納 3,000 kW 誘導電動機の紹介を兼ねて、最近の高速大容量機の設計の概要を述べた。本機は戦後の記録品であつて本記録品の製作に特に協力された八幡製鉄株式会社を始め、関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 実用新案 400299
- (2) 実用新案 409649

