

15,500kW 四極巻線形誘導電動機

15,500kW 4-Pole Induction Motor

中 村 皓 一* 広 豊*

Kôichi Nakamura

Yutaka Hiro

Rapid growth in scale of TO plants taking place of late following that of iron and steel plants has made it necessary to manufacture correspondingly large driving motors.

Hitachi recently completed a 15,500 kW 4-pole induction motor for installation at Chiba Steel Mill, Kawasaki Steel Manufacturing Co. In capacity the motor ranks among the largest in the world.

Its construction, specifications and the results of performance tests are introduced.

1. 緒 言

近年各種産業界、特に鉄鋼重化学工業界における技術の急速な発展は酸素の需要をますます増加させ、その酸素製造装置の大容量化を進めた。

その装置の大半は全低圧式空気分離装置であり、この空気分離装置用原料空気圧縮機を駆動する電動機としては、従来、同期電動機または誘導電動機が用いられている。今回、日立製作所において製作された川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納め30,000Nm³/h空気分離装置用原料空気圧縮機駆動電動機には始動トルクの大きい高速巻線形誘導電動機を採用した。従来、製作した電動機は10,500kW、8,300kW級六極機であるが、今回、製作した電動機は15,500kW四極機という世界的にも有数の高速大容量機であるので以下にその仕様、構造、技術的特長および試験結果について説明する。

2. 仕 様

電動機の仕様は下記のとおりである。

出力：15,500kW

電 圧：6,600V

周波数：50Hz

極 数：四極

定 格：連続

形 式：TFFZB₃L-MCRYI（全閉他力管通風形、ペDESTAL軸受構造、スリップリング電動短絡装置付）

3. 構 造

本機は高速大容量機として、記録的な製品であるため、細部にわたり、検討が加えられた。その主要部として、

- (1) 冷却方式の検討
- (2) 回転子構造と強度の問題
- (3) F種絶縁の大容量機への適用
- (4) スリップリング電動短絡部のフォーク、ブレードの大容量化
- (5) 軸受構造

などである。上記の事項を含めて以下、構造について述べる。図1は本機の外観である。

3.1 固定子

固定子わくは鋼板溶接構造で、各部の溶接には日立技術を駆使

しており、高速機の固定子としてきわめて信頼度の高いもので、振動に対して強固であるとともに、電磁騒音発生を抑えた構造としている。

高速度であるので、回転子の各部応力を十分安全な値とするためには回転子外径を大きくすることができない。したがって鉄心積厚は従来の標準形四極に比べて2.8倍と長くなっているため、冷却通風路の形状およびその経路には特に注意を払い、通風損失を少なくするとともに効果ある冷却方式を採用している。

鉄心積厚が長いので、従来採用してきた回転子ダクトによるファンアクション効果を用いた半径方向のみの通風方式では完全な冷却が期待できない。そのため固定子わく部を5パケットに分割して、一部のパケットでは固定子わく部より固定子鉄心ダクトへ強制的に通風させることにより、風量の増加を図るとともに、鉄心部の固定子コイルを直接冷却するため、固定子コイルのスロット部に通風路を設けて軸流通風を加えた新しい冷却方式を採用している。図2は本機の構造を示したものである。

固定子鉄心に使用したけい素鋼板には鉄損の少ないものを選び、発生損失を極力小さくしている。

3.2 回転子

回転子周速は約90m/sに達するため、回転子には大きな遠心力が加わるので機械的強度について、十分な考慮を払うとともに、回転子コイルの冷却方法についても効果ある方法をとる必要がある。極数の小さい機種では、コイル端部が長く、かつ遠心力に耐える構造とするため、保護バインドが必要である。そのため冷却

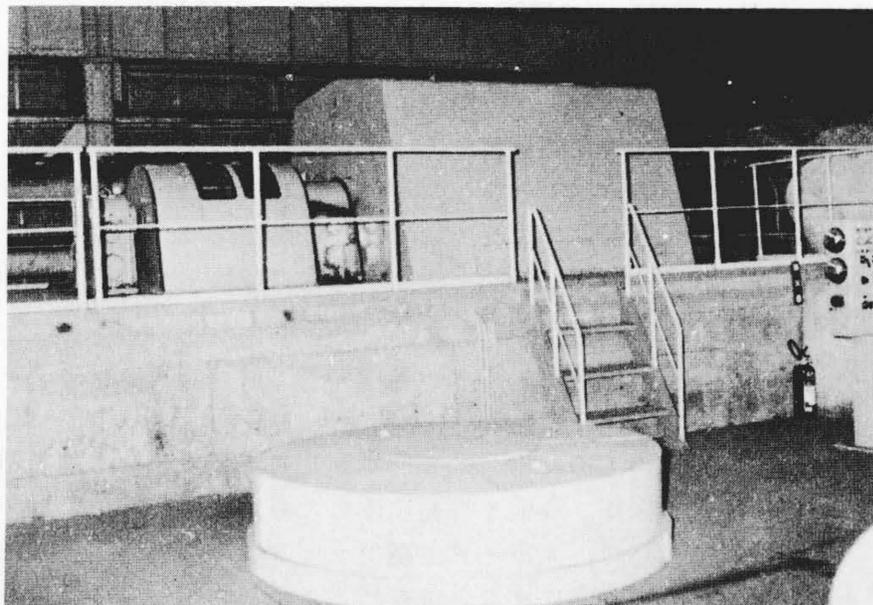


図1 15,500kW, 1,500rpm誘導電動機

* 日立製作所日立工場

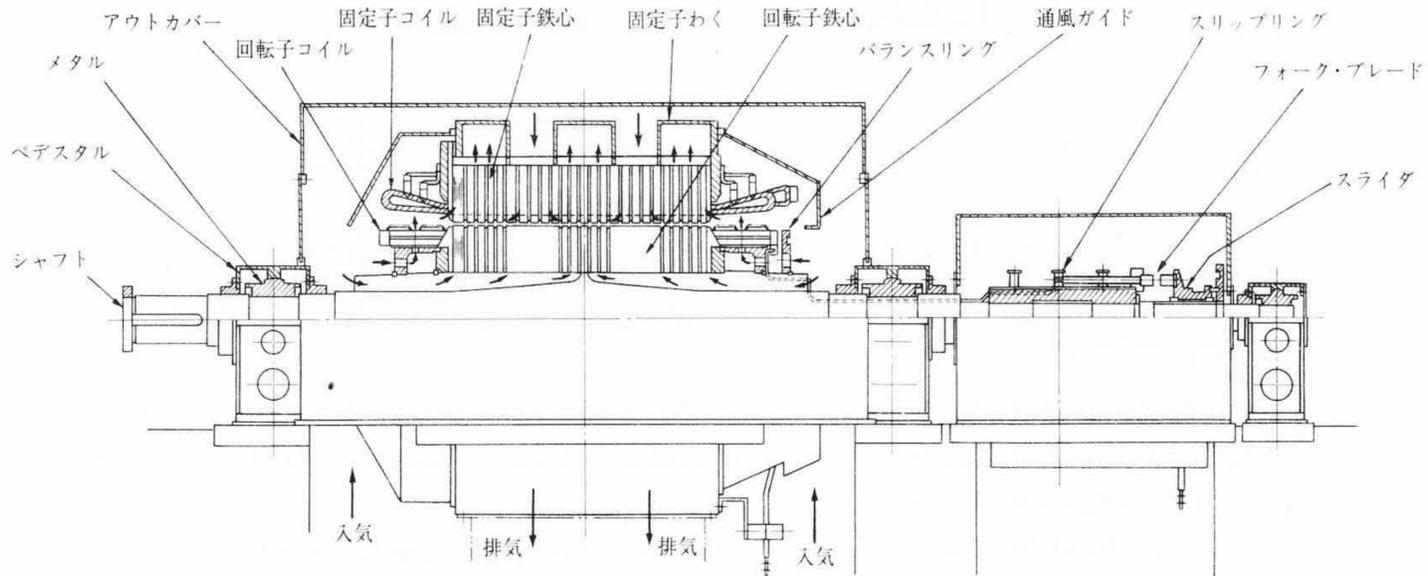


図2 15,500kW誘導電動機の構造図

が悪くなるのでコイル端部には半径方向の通風ダクトを設け、その冷却効果を有効に利用している。

回転子鉄心用けい素鋼板は回転子コイルの遠心力による応力と鋼板自身の回転に伴う応力が生ずるので抗張力の大きいものを選定する必要がある。高速大容量機の鉄心にセグメントタイプを採用することは軸と回転子鉄板との間のダブテール部の機械的強度が応力的に耐えることができなくなるため、本機では回転子鉄板を丸形一体のワンスタンプとして、十分に機械的強度に耐える構造とした。

軸は全長6m以上の鍛鋼品であり、精度の高い作業を行なっている。

回転子の端部および中間のダクトピースは鋼板製で、大きな遠心力に耐えるよう平鋼よりの削り出しとしている。

3.3 絶縁

固定子コイル、回転子コイルともにF種絶縁を採用している。絶縁ワニスには耐湿、耐油、耐熱特性のすぐれた信頼性の高いエポキシワニスである。

固定子コイル端部は起動時および運転中の振動または電磁力によって移動することのないよう、各コイル間に無溶剤合成樹脂ワニスを含浸させたフィットスペーサで補強し、かつささえリングを設けている。

固定子コイルは運転中の表皮効果を少なくするため、コイル端部においてトランスポジションを行なっている。

なお絶縁の詳細については別途発表の予定である。

3.4 スリップリングの電動短絡およびブラシ引揚装置

15,500kW級の大容量になると二次電流が大きくなるため、短絡機構のフォーク、ブレードの構造に最大の注意を払わねばならない。本機ではすでに大容量化を図った新形フォーク・ブレードを適用している。このフォーク・ブレードは単に電流容量をもたせるのみならず、運転中の遠心力によって変形したり、接触不良を起こさない構造とし、電氣的、機械的寿命試験により、その特性を確認している。

スリップリングにはステンレス製のものを用い、集電用ブラシ電流の不均衡を小さくするため、表面に溝(みぞ)を設けている。ブラシには良質のメタリック系カーボンを主成分としたものを用い、その個数も保守、点検を容易にするため、最小にしている。

短絡機構において、スライダと軸のクリアランス部は、長期停止時および長期運転時にダスト付着による動きの固渋およびさびの発生がないよう考慮する必要がある。このさび発生防止法とし

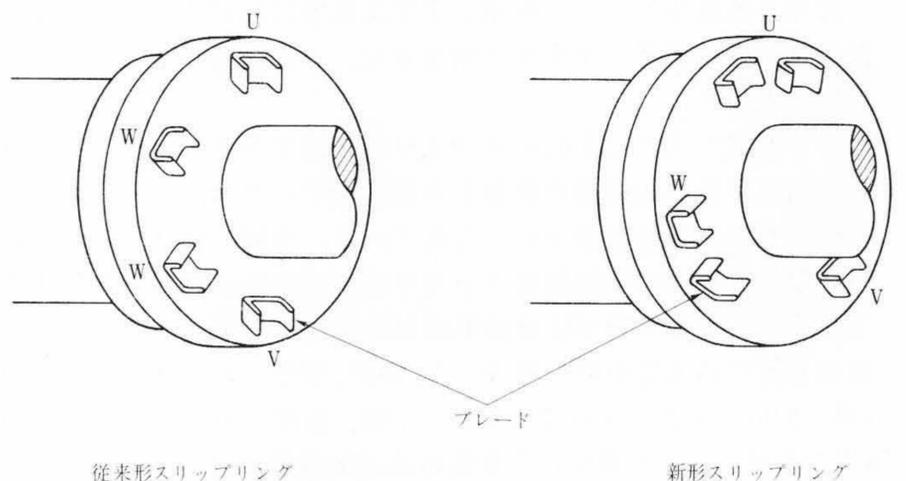


図3 フォーク・ブレードの配列

てスライダ部には特殊合金を、軸部には特殊合金で作られたシャフトカラーを取り付けてスライダが常に円滑に作動できるような構造を採用している。

一方、悪条件のため起動、停止時のスライダ部の固渋が発生する場合を考慮し、短絡装置駆動用電動機に起動用および停止用の専用の渋滞保護装置を取り付け、これにより駆動用電動機のロック防止ならびに主電動機トリップを行なわせる。

本機のように15,500kW級になると、二次電圧は6,000V以上にもなり、スリップリング自体が大きくなる。そのため、スリップリングの小形化を図るため、同相のフォーク・ブレードを隣合わせにして、スリップリング径を30%小形化した(図3参照)。

3.5 軸受構造

軸受はペダスタル形の強制給油方式軸受である。軸受メタルにはバビット系の特殊合金を用いて、軸受損失の減少を図るとともに、振動が小さくなるように考慮している。3軸受構造であるため、軸とメタルのあたりに対しては、工場試験時および現地据付時に十分注意して、片あたりせぬよう調整を行なっている。

固定子鉄心の分割数は軸電流の発生しない数に選ぶとともに、各部の工作精度を高めることにより、固定子と回転子の間の空げきの不ぞろいを極力小さくしている。その値は1%以下である。

しかし、わずかの軸電圧による損傷も避けるため、軸電流防止法として、各ペダスタルに絶縁を行ない電動機軸受の軸電流による損傷を防いでいる。接地端子は直結側のペダスタルに取り付けている。

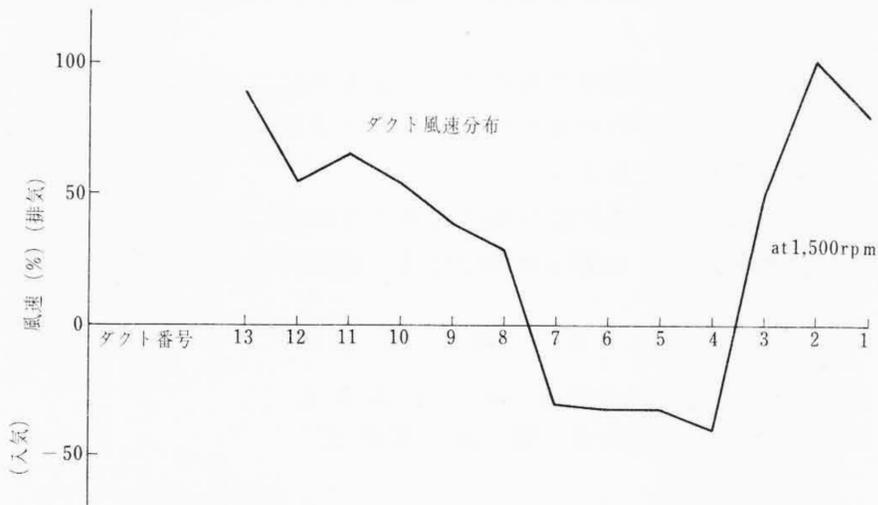
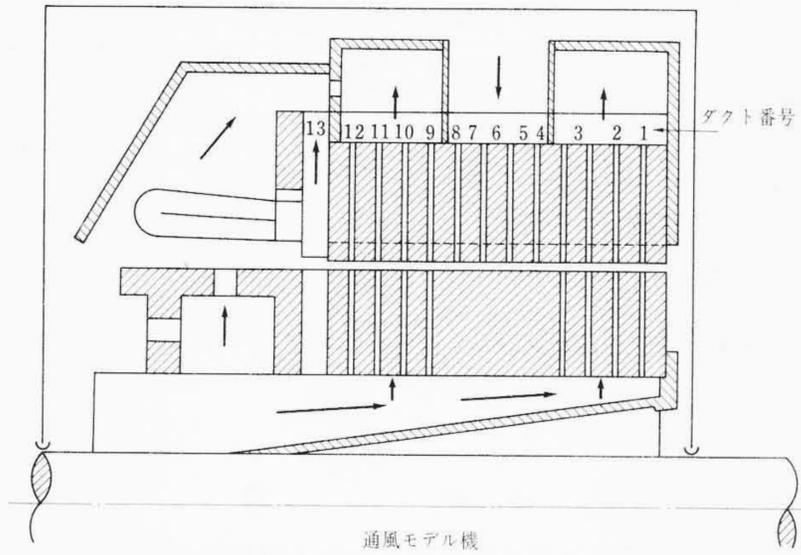


図4 通風モデル機とダクト風速分布の一例

4. 冷却方式

冷却方式は強制他力通風方式で別置のファンによって通風ダクトを通して、電動機基礎部より入気する。基礎部から本体用とスリップリング冷却用に分離され、特にスリップリング用冷却風にはダストの混入せぬよう十分な注意を払っている。

固定子、回転子の冷却構造は3.1および3.2で述べたとおりである。

本機のように高速大容量機の通風方式は従来の半径方向のダクトアクションのみでの風量では不十分であるため、通風モデル機を作り、風速分布が均一となる最善の方式を採用した。

モデル機は塩化ビニル製で実機の1/2縮尺である。一例としてモデル機によるダクト間の風速分布を図4に示す。+、-は入気、排気の方角を示すものである。

回転子コイル端部は図5に示すとおり通風ダクトを形成している。これは回転子コイル端部ではコイルの下部に絶縁をしているためと、コイル上部に保護バインド線を巻いているため、冷却効果の悪くなることを防ぐためである。

コイル端部に通風ダクトの有無による温度上昇の分布を電算機により計算した結果の例は、図6に示すとおりである。

このようにダクト効果は端部の長いコイルに対して有効であることがわかる。

固定子コイルの温度上昇分布曲線は図7に示すとおりである。

5. 性能試験結果

工場および現地試験結果では電動機の効率は97.8%というきわめて高い値が得られた。また固定子コイル、回転子コイルおよび鉄心の温度の測定結果、特に著しい局部過熱もなく、均一な温度分布が得られた。特に考慮を払った回転子コイル端部も60deg°Cという結果が得られ、予想どおりの数値であった。

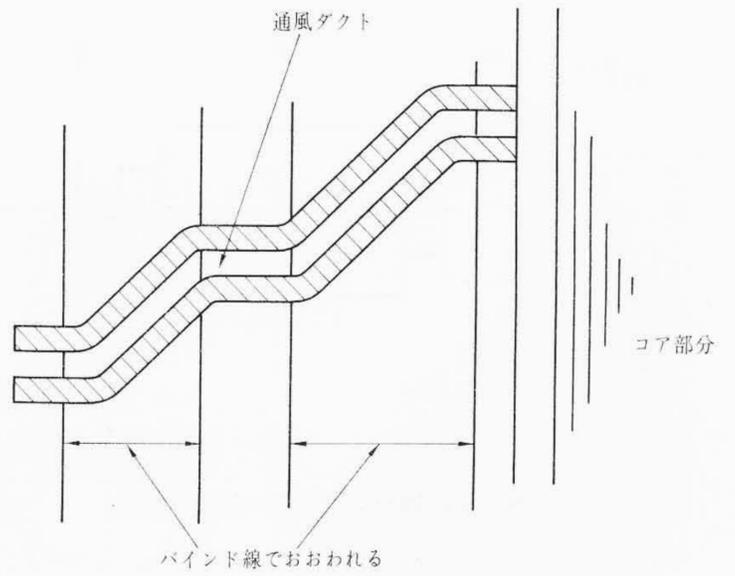


図5 回転子コイル端部の通風ダクト

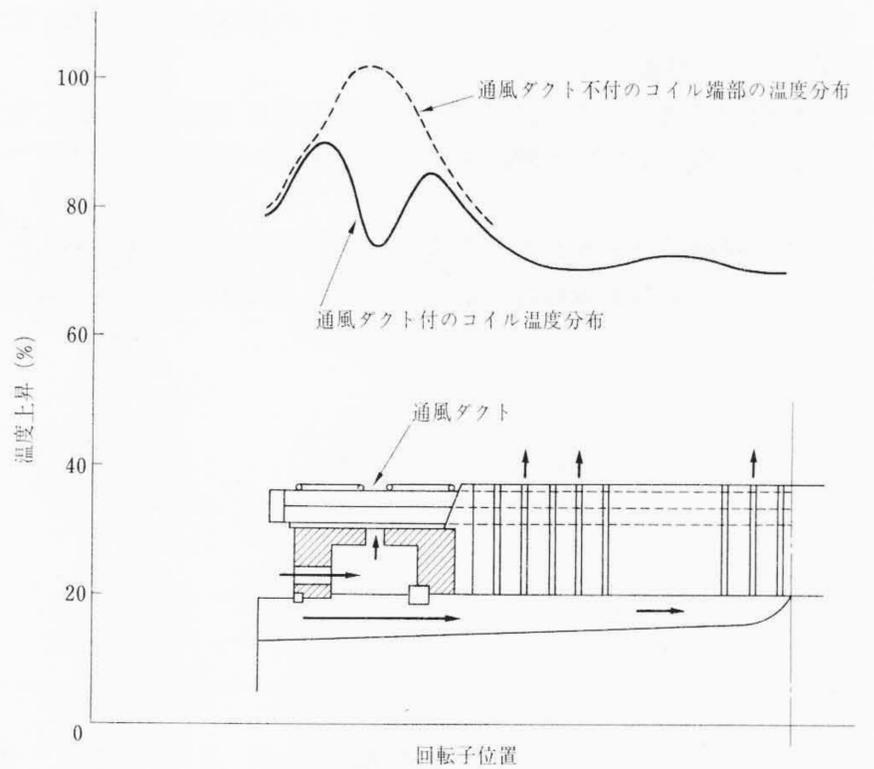


図6 回転子コイルの温度上昇分布

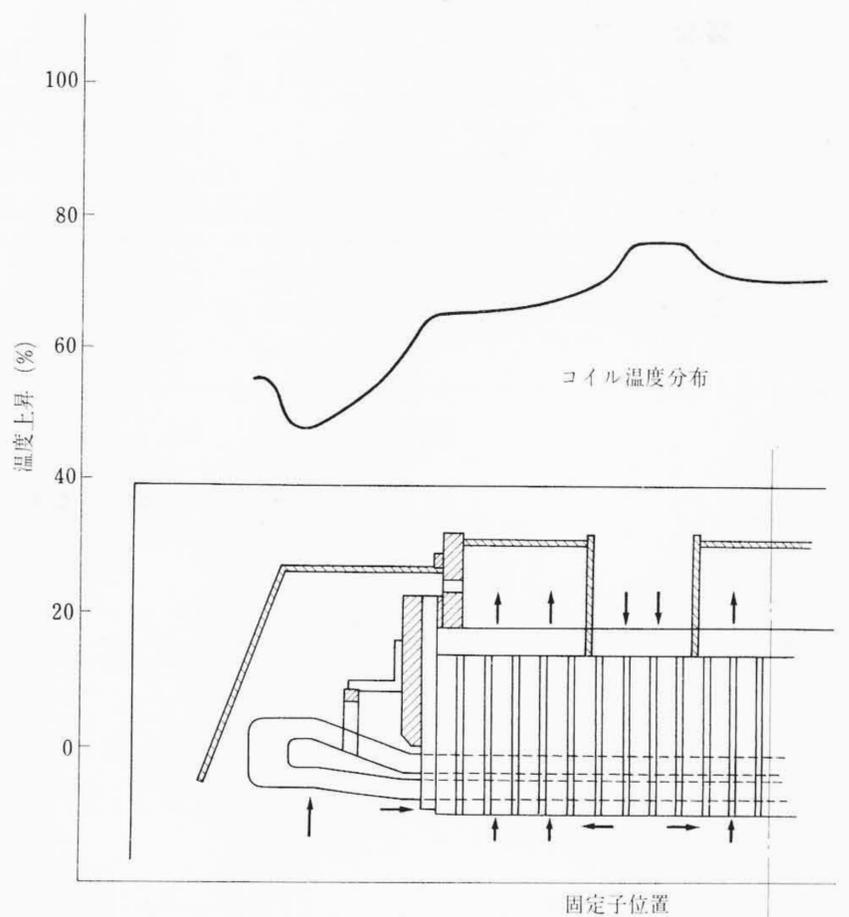


図7 固定子コイルの温度上昇分布

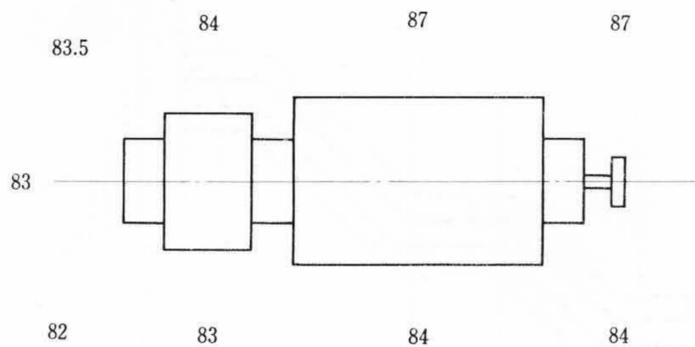


図8 15,500kW電動機の騒音測定値
Aレンジ(dB) 測定距離1m
暗騒音 81(dB)

軸受温度は直結側、反直結側およびスリップリング側ともに20 deg °C以下であった。

スリップリング部のフォーク、ブレードの温度上昇は10deg °Cで満足すべき性能となっている。

始動時の特性としては、投入時の始動電流は145%以下、二次抵抗器短絡時および二次外部短絡盤の短絡時の電流は75%以下である。

一方、機械的にもきわめて安定した状態を保ち、図8、表1に示すとおり、現地試運転時の騒音、振動ともに少なく好調な稼動を続けている。

表1 15,500kW電動機の無負荷運転時の振動測定値

測定位置	測定方向	上下方向 (V)	水平方向 (H)	軸方向 (A)
直結側軸受部		2.6	5.3	2.4
反直結側軸受部		2.2	4.0	3.3
スリップリング側軸受部		1.5	4.0	3.0

注：全振幅、単位：1/1,000 (mm)

6. 結 言

このたび完成した川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納め原料空気圧縮機用15,500kW誘導電動機の構造、特長、試験結果について述べた。

本機は世界的に屈指のものであるとともにこの経験をもとに、今後とも鉄鋼技術の発展につれ、さらに大容量のTOプラント設備が実現されるであろう。

終わりに本電動機の設計製作にあたり終始ご指導をいただいた川崎製鉄株式会社の関係者各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 伊地知, 広：日立評論 44, 723 (昭37-5)
- (2) 立川ほか：日立評論 52, 980 (昭45-11)

Vol. 54

日 立 評 論

No. 12

目 次

■論 文

- ・直角分岐管の応力解析
- ・154~275kVガスコンパクト開閉装置
- ・負荷選択しゃ断装置
- ・H-8959形光学文字読取機
- ・大容量同期電動機の低周波同期始動
- ・ホテル交換機用の料金計算およびモーニングコールシステム—ミニコンピュータ応用の新サービス装置—
- ・784MW BWR原子炉給水ポンプの開発

- ・深海形水中ブルドーザシステムの開発
- ・ゴム、プラケープル接続用粘着性絶縁テープの開発と応用
- 全自動群管理エレベータ特集
- ・全自動群管理エレベータの発展とその展望
- ・エレベータ群の待合せ問題
- ・エレベータシステムの計画と評価
- ・エレベータ群の予測制御システム—CIP/ICの開発—
- ・高層ビル用エレベータの群管理

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100
取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座 東京 20018番