

新形汎用モートル — N シリーズ —

New Type General Purpose Induction Motors — N Series —

榊 一郎* 小池 俊男*
Ichirō Sakaki Toshio Koike

要 旨

防滴保護形汎用モートルの防滴・保護性能に対する要求は年々より高度になっている。これに対応するため、モートル内部の熱伝達機構を理論的に解明することにより、防滴・保護性能にすぐれ、しかも過負荷運転に強い新形防滴保護形汎用モートル—N シリーズ—を開発し、製作を開始した。本稿ではその概要について述べる。

1. 緒 言

三相防滴保護形汎用モートル（以下汎用モートルと呼ぶ）は、各種モートルのなかでも、最も広範な用途を持っており、要求される性能も多様である。特に防滴性能と異物に対する保護性能は年々高度なものが要求されるようになってきた。

従来のA種絶縁汎用モートルはモートルの下部に向かって開口した通風孔を有していたため、防滴性能は比較的良く、保護性能も問題が少なかった。これに対し、著しく小形化されたE種絶縁汎用モートルは、小形化による冷却の困難を補うために、モートル側面全体に通風孔を設けて、モートル内部損失による熱量を容易に放出し得る構造となっている。したがって、防滴性能、保護性能は若干犠牲にされているきらいがあった。

これを改良するため、E種絶縁汎用モートルの冷却機構について根本的検討を加え、その成果を生かして防滴保護性能にすぐれ、かつ過負荷運転に強い、新形E種絶縁汎用モートルを完成することができた。以下その開発経過と特長について述べる。

2. 防滴性能と保護性能

モートルの防滴・保護性能は、その使用される環境、ふんい気によって選択されるべきものであるが、汎用モートルは特殊な場合を除いて最も多種多様な条件下で用いられている。

汎用モートルに期待される保護性能には次のようなものがある。

- (1) 人体に対する危害防止
- (2) 異物侵入に対する保護
- (3) 水の侵入に対する保護
- (4) ふんい気に対する保護

ここで、(4)は特殊な用途において問題となるものであるのに対し、(1)~(3)はあらゆる用途において要求される汎用モートルの必要条件というべきものである。

この3種の保護性能の評価法については、IEC（国際電気標準会議）にて審議中であるが、その骨子は表1のようなものである。

日立汎用モートルは、人体および異物に対する保護階級は2（保護形）、水に対する保護階級は2（防滴形）の両条件を満足する防滴保護形としている。

従来のE種絶縁汎用モートル（Mシリーズ）はその温度上昇の低いこと、バランスのとれた特性などにより好評を博してきたが、その外観は図1（a）に示したように、通風孔がエンドブラケット全面に開口しており、そのため防滴・保護性能に関してはやや不十分な点があった。

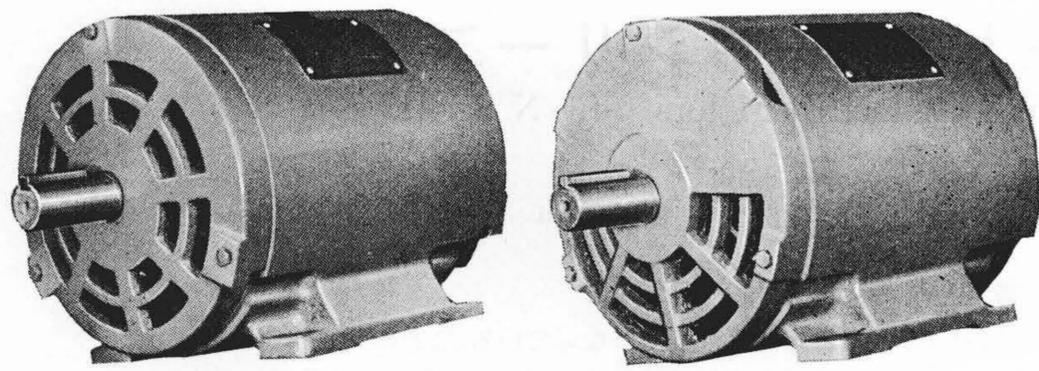
この点について改良を加えた新形E種絶縁汎用モートル（Nシリーズ）の外観は図1（b）に示すとおりである。Nシリーズの防滴・保護両性能について、Mシリーズとの比較試験結果を次に述べる。

表1 回転機の保護構造の分類

水の侵入に対する 保護階級		0	1	2	3	4	5	6	7
		無 保 護	水滴の垂直落下に対する保護	15度傾斜した水滴落下に対する保護	60度以下の角度の雨水に対する保護	あらゆる角度の雨水飛まつに対する保護	水の噴射に対する保護	船の甲板の悪条件に対する保護	浸水に対する保護
0	無 保 護	00 無 保 護 形	01	02 防 滴 形					
1	人体（手）接触予防 大きい固形異物侵入保護 50 mm φ 棒 52.5 mm φ 球	10	11	12	13				
2	人体（指）接触予防 中程度の固形異物侵入保護 12 mm φ 棒	20 保 護 形	21	22 防滴保護形	23				
3	工具・電線の接触予防 小さい固形異物侵入防止 2.5 mm φ 棒								
4	工具・電線の接触予防 ごく小さい固形異物侵入防止 1 mm φ 棒					44 全 閉 形 全閉外扇形			
5	完全な接触予防 ちり、ほこりの有害な蓄積に対する保護 70 μ					54 全 閉 防塵（じん）形	55 全閉防水形	56 全閉防水形	57 防 浸 形

備考 (1) 全閉外扇形のファンカバー部は保護形以上であること。
(2) 全閉外扇形の通風孔および排水孔は保護形以上であること。

* 日立製作所習志野工場



(a) Mシリーズモートル (b) Nシリーズモートル

図1 防滴保護形汎用モートル

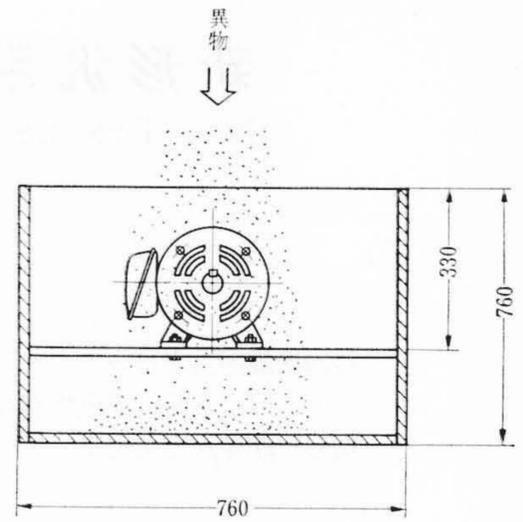
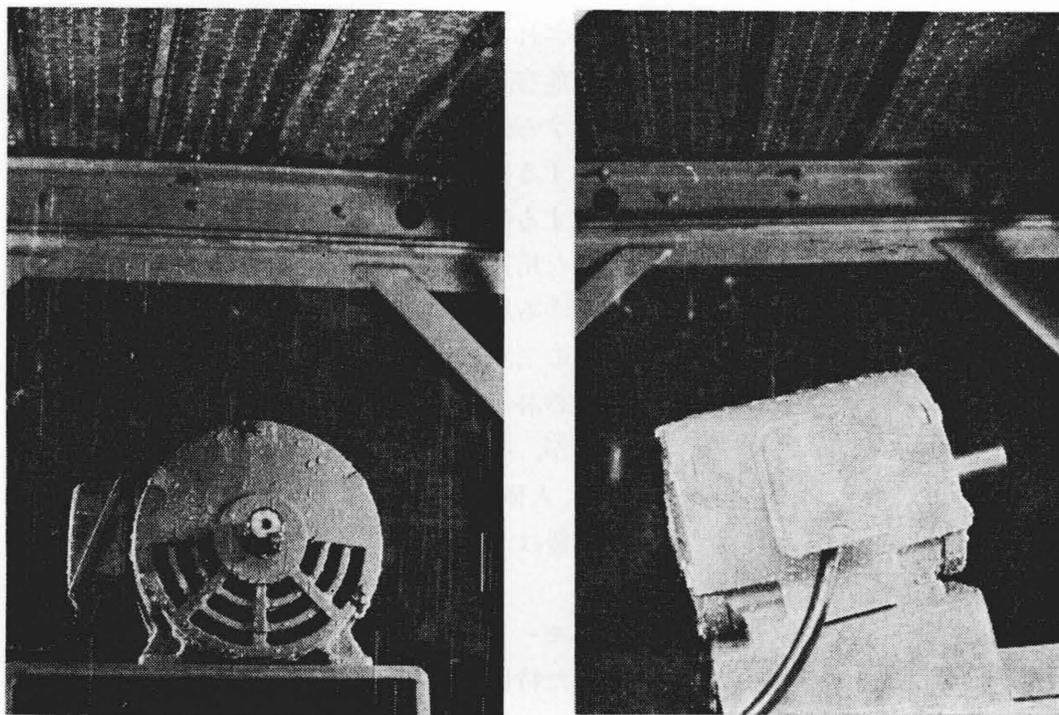


図3(a) 異物保護試験装置 (単位 mm)



(a) (b)

図2 防滴試験中のNシリーズモートル

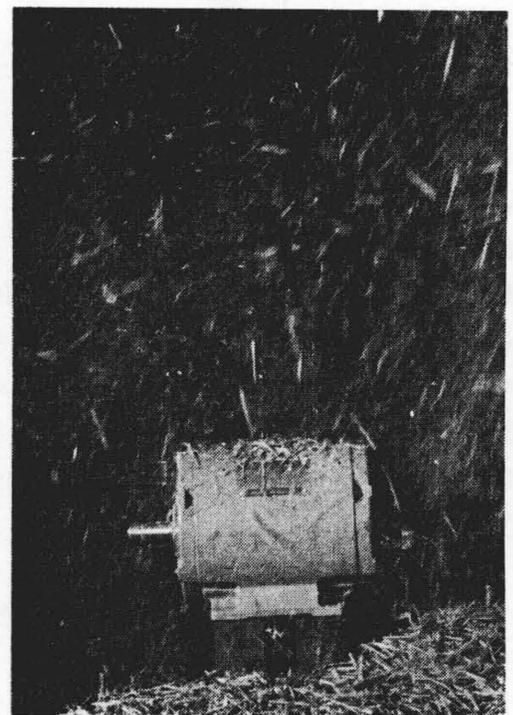


図3(b) ワラクズ試験中のNシリーズモートル

表2 防滴性試験結果

調査項目 モートル種別	浸水状況		絶縁抵抗		排水孔より の排水状況	防滴性の評価
	吸気側	排気側	滴水前 MΩ	滴水後 MΩ		
旧形 (Mシリーズ)	通風孔ではねかえりにより、コイル端部がぬれる。	浸水はあるがファンガイドにさえぎられコイルはぬれない。	∞	1,000	排水よし	やや悪い
新形 (Nシリーズ)	浸水なし	浸水なし	∞	∞	(入水なし)	良い

備考 (1) 滴水の雨量は、3 mm/min を10分間。
(2) モートルは、吸気側または排気側を上へ15度傾斜させて、無負荷運転した。

2.1 防滴性能試験

防滴性能試験は、IEC 推奨の図2のような試験装置により行なわれた。これは垂直に落ちるほぼ一定の大きさの滴水を、20 mm 間隔で分布させるようにしたもので、滴水の角度はモートルを傾斜させて調節する。モートルを水平面から15度傾斜させ、最も水のはいりやすい方向を上に向けて滴水の中に置き、10分間無負荷運転する。滴水の水量は3 mm/min で、これは実際の雨では豪雨といってよい。

滴水後、モートル巻線とフレームの間の絶縁抵抗を測定し、さらに肉眼で内部への浸水状況を観察した。その結果は表2に示すとおりである。

Mシリーズ品では、上部通風孔の縁ではねかえった水滴が巻線にあたり、滴水後の絶縁抵抗が若干下がっている。モートル内部に浸入した水は排水孔から排水されるので運転には支障はないが、この滴水が長期にわたってくり返された場合は、モートルの絶縁寿命に

悪影響を与えるおそれがある。

一方、Nシリーズ品は上記試験結果より示唆を得て、通風孔を下部に集中させ、そのうえエンドブラケットの曲面よりややくぼませて滴水の浸入を防ぐ構造とした。この改良の結果、滴水のはねかえりがなくなり、絶縁抵抗の低下はまったくなくなった。

Nシリーズ汎用モートルは、垂直から15度以内の傾斜を持って落下する滴水に対しては、完全な防滴性能を有することが確認された。この結果、水滴、油滴などが落下するような環境でも不安なく汎用モートルを使用することが可能になった。

2.2 保護性能試験

表1によれば、保護階級2は直径12 mm を越える丸棒がモートル内部に侵入しない構造と規定されている。これは人間の指を想定したもので、人体に対する直接の危害を防止することを目的としている。M・N両シリーズともこの規定を満足しており、人体に対する保護には問題がない。

異物の侵入による弊害は、この種のモートルでは比較的大きな軽量異物(たとえばオガくず、ワラクズ)が原因となって生ずる場合が多い。これらの異物がモートル内部に侵入し滞積されると冷却に支障をきたすようになり、はなはだしい場合には焼損にいたることもあり軽視できない。オガくず、ワラクズは木工機械、農事用機械に組み込まれたモートルで特に問題になるが、これらに対する保護を考慮したモートルであれば、一般の用途においても異物によるトラブルを未然に防止することができる。

防塵(ぼうじん)構造を対象とした防塵試験法は規格化されているが、ここで問題にしているような比較的大きな軽量異物については、

表3 異物保護試験仕様および結果

モートル種別		旧形 (Mシリーズ)			新形 (Nシリーズ)		
項目		なし	オガくず	ワラくず	なし	オガくず	ワラくず
異物	侵入量 (g)	なし	40	25	なし	75	12
	温度上昇						
温度	コイル (deg)	57	65	72	58	60	63
	フレーム (deg)	40	45	50	40	41	43

備考 (1) 被試験モートルはいずれも 1.5kW EFOUP-K 4極
 (2) 電源は 200V 50Hz
 (3) 異物保護試験中のモートルは無負荷運転
 (4) 全負荷温度上昇は、巻線・温度上昇を抵抗法にて測定したもの

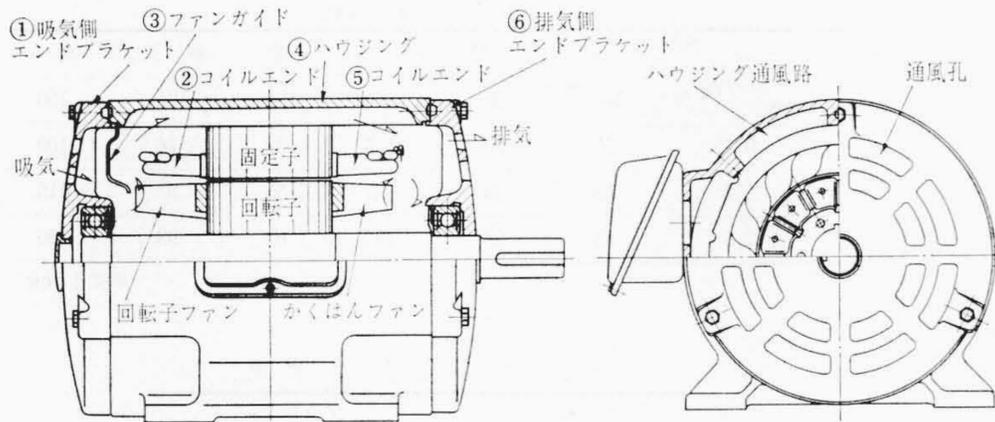


図4 モートルの構造

公認された試験方法はない。

小形モートルのように小風量、低風速のものでは、モートル上部より落下する異物のモートル内部への侵入量が問題となる。そこで、図3に示すような試験方法を用いた。対象異物は乾燥したオガくずとワラくずで、これらが無負荷運転中のモートル上部より自然落下させて、1時間後にモートル内部に滞積した異物の量を測定した。その結果は表3に示すとおりである。

Mシリーズに比べNシリーズは、オガくず滞積量は40%、ワラくずは約50%と大幅に減少しており、通風孔の改良効果があらわれている。上記試験後、全負荷温度上昇試験を行なうと、Mシリーズが異物の滞積により約15°C上昇したのに対し、Nシリーズは約5°Cの上昇にとどまり、これらの異物によるトラブルはほとんどなくなるものと考えられる。

以上述べたように、Nシリーズ汎用モートルの防滴性能、保護性能は通風孔の改良により大幅に向上し、使いやすいモートルとなっている。

次に、通風孔面積の減少に伴う冷却のむずかしさを補い、さらに過負荷に強いモートルとするための検討を行なった。

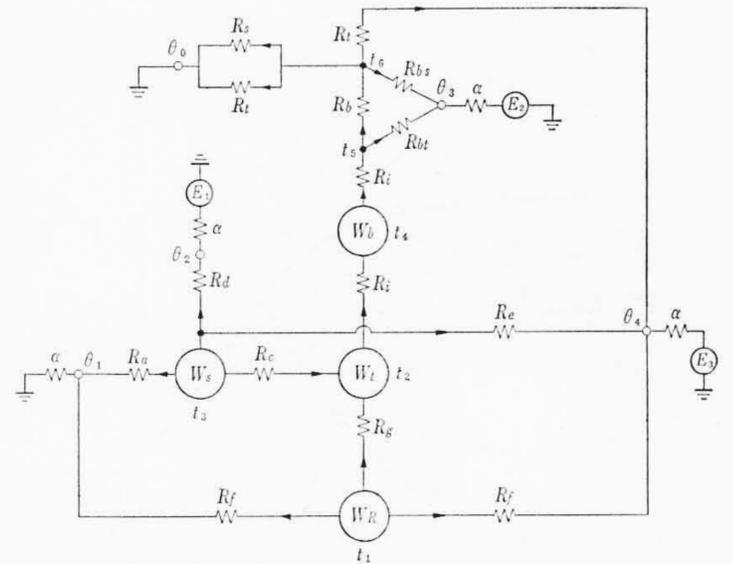
3. 温度上昇と冷却

汎用モートルの内部構造と部品名称は図4に示すとおりである。

モートルの温度上昇は、内部損失による熱量とこれを除去する通風空気、および両者間にある熱抵抗とで決定される。この関係を集中定数熱等価回路で模擬すると図5のようになる。この熱等価回路は熱容量を考えない定常状態の温度分布を模擬するものである。

ここで、熱量、熱抵抗、温度をそれぞれ電流、電気抵抗、電圧に置き換えれば、電気回路でモートル内の温度分布を再現することができる。この置き換えをした電気的等価回路(シミュレータ)を用いて、各部分の熱抵抗と通風量を連続的に変えて温度分布を求めた。この結果、モートルの温度上昇に最も影響の大きいものは通風量であり、これを増やすことが最も効果の大きいことが確認された。

また過負荷のときは回転子の発生熱量が大きくなり、この熱量の発散をより効果的に行なうことができれば、過負荷連続運転の限界をさらに大きくすることができる。



- R_f : 回転子ファンと通風空気間の熱抵抗 (deg/W)
- R_g : 空隙の熱抵抗
- R_c : 固定子コイルと鉄心間の熱抵抗
- R_a : 吸気側コイルエンド内径側と通風空気間の熱抵抗
- R_d : 吸気側コイルエンド外径側と通風空気間の熱抵抗
- R_e : 排気側コイルエンドと通風空気間の熱抵抗
- R_i : 鉄心中の半径方向の熱抵抗
- R_{bt} : 鉄心背面と通風空気間の熱抵抗
- R_b : 鉄心とハウジング間の熱抵抗
- R_{bs} : ハウジング内面と通風空気間の熱抵抗
- R_s : ハウジングと外気間の熱抵抗
- R_t : ハウジングとエンドブラケット間およびエンドブラケットと通風空気間の熱抵抗の和
- α : 通風空気の熱抵抗
- $\alpha = 60/QC$ (deg/W)
- Q : 風量 (m^3/min)
- C : 空気の熱容量 $= 1.11 \times 10^3$ ($W \cdot S/m^3 \cdot deg$)
- E_1, E_2, E_3 : それぞれ $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ の温度を与える電圧源

図5 開放形モートルの熱等価回路

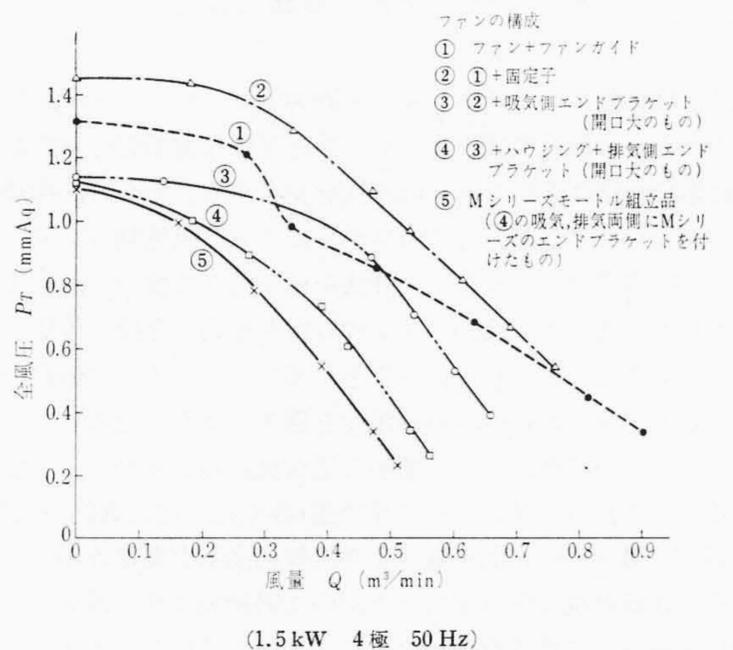


図6 ファン単体からモートル組立品までの特性曲線の推移

シミュレータによるこれらの結果をもとに、モートル内部の通風抵抗の低減、アルミダイカスト回転子の冷却ファンの特性改良による通風量の増加、および回転子の冷却法について検討を行なった。

3.1 冷却ファン以外の部品と風量の関係

モートル内部の形状は図4に示したように、通風路としては複雑で、冷却ファン前後の風の流れは複雑に乱れており、内部風速の測定は困難である。そこで、モートル全体を一つの送風機と見なして、その風量-風圧特性を求め、順次部品を取り去り、最後に冷却ファンとファンガイドの組み合わせで特性を測定した。この結果が図6である。この測定結果より次の事柄が明らかになった。

(1) 排気側エンドブラケットとハウジングは、ほぼ純粋な通風抵抗であると考えてよい。

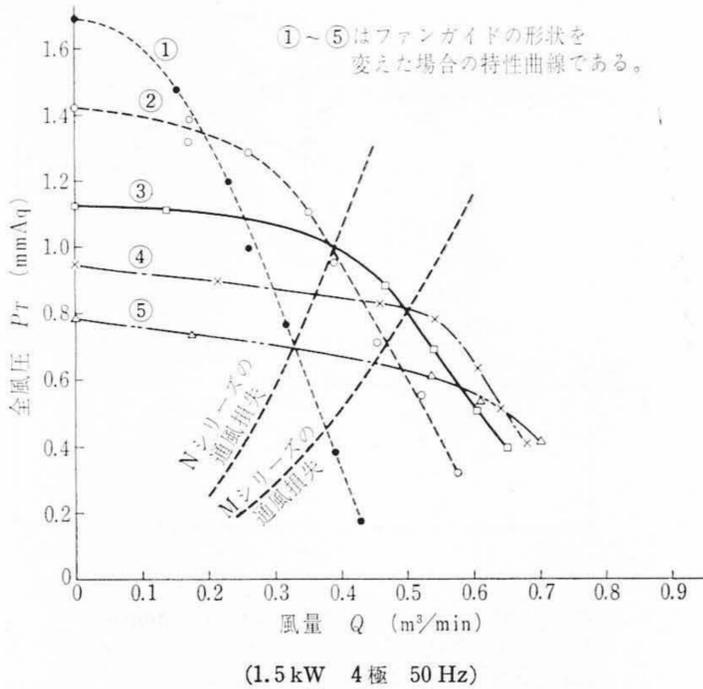


図7 ファンガイド形状と特性の関係

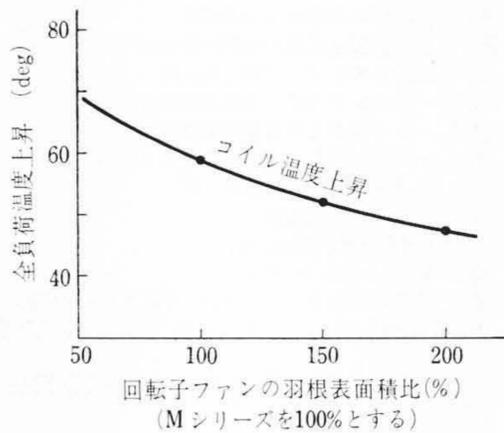


図8 回転子ファンの表面積と温度上昇

(2) 吸気側エンドブラケットと固定子コイルエンドは、ファンガイドとともに送風機のケーシングと同様な役割を持っており、これらの寸法は冷却ファンの特性を左右する。そこで、冷却ファンのケーシング部品としてのファンガイド、吸気側エンドブラケット、固定子コイルエンドの寸法を種々変えて検討した結果、制約された寸法の中で冷却ファンの特性を最高に発揮し得る最適寸法を求めることができた。一例としてファンガイドの形状を変えた場合のファンの特性曲線を示すと図7のようになる。

ファンの最適特性はファン前後の通風抵抗の大きさによって選択されるものである。Nシリーズ品は吸・排気孔の通風抵抗が大きく、したがってMシリーズ品の場合より比較的高圧小風量形のファンが適する。通風抵抗の測定結果と上記の実験結果より、Nシリーズに最適なケーシング寸法を決めた。これはMシリーズに比べ次のような相違がある。

- (1) ファンガイドの形状を変えて比較的高圧小風量形の特性とした。
- (2) コイルの末端処理を合理化し、コイルエンドの長さを短くした。
- (3) 回転子端絡環をより扁平とし、ファンの有効長を長くした。

3.2 冷却ファンおよび回転子冷却の検討

冷却ファン前後の部品について最適寸法を求めたので、次に冷却ファン自体の諸元について検討した。

冷却ファンの羽根枚数、寸法を数種組み合わせさせたモデルファンの特性を測定した結果、ファン諸元と特性の関係が明らかになり、制約寸法下で最も効率の良いファンを作ることができた。

回転子の冷却は図5でわかるように、回転子導体と一体にダイカストされたファンの表面からの放熱に頼っており、またこれが最も

表4 回転子改良前後のモートル温度上昇比較 (1.5kW 4極 200V 50Hz)

項目	モートル種別	改良前 試作モートル	改良後 モートル
風量 (m³/min)		0.39	0.42
温度上昇 (deg)	コイル (抵抗法)	68	58
	ハウジング表面	49	40
	軸吸気側	25	19
	受排気側	44	36

表5 新旧シリーズの温度上昇比較 (200V 50Hz 4極)

出力 (kW)	種別 負荷 (%)	旧形 (Mシリーズ)			新形 (Nシリーズ)		
		100	125	150	100	125	150
0.75		55	80	115	57	76	100
2.2		58	90	135	55	82	115
7.5		61	98	150	62	93	130

単位: deg

表6 熱時定数の効果

項目	Nシリーズ Mシリーズ比
熱時定数	120
50% ED 時の出力	105
起動可能最大 GD ²	120

効率が良い。回転子の熱源と通風空気間の熱抵抗は、実用範囲ではファンの表面積にほぼ反比例する。

シミュレータにより、通風量を一定としてファンの表面積と温度上昇の関係を求めると図8のようになる。ファンの表面積の増加による回転子熱抵抗の低減は、固定子コイルの温度上昇低下に大きな効果がある。通風量増加の効果と熱抵抗低減効果の相乗効果を最大にするについては、羽根の間隔と回転子外径寸法の比率に最適値が存在する。

一方、回転子の回転不釣り合い修正用のバランスウェイトをファンの羽根の間に取り付ける必要から、羽根間隔の最小値が制限される。Nシリーズ品では、これらの関係を考慮して回転子ファンの諸元を決めた。

回転子改良の効果を見るために、同一のモートルに改良前後の回転子を使用してその温度上昇を比較すると表4のようになり、改良の効果の大きいことがわかる。

以上のような内部構造の改良を行なった新形Nシリーズと旧形Mシリーズの温度上昇を比較すると表5のようになる。100%負荷時の温度上昇は両者の間に大差はないが、125%負荷で約5°C、150%負荷時には約20°C新形のほうが低い。回転子改良の効果は過負荷になるほど大きく、Nシリーズは過負荷に強いモートルとなっている。

モートルの熱時定数は、断続負荷の場合の使用可能出力の限界、慣性質量の大きい負荷を起動するときの負荷の制限などに関係し、熱時定数が大きいモートルほどこれらの限界を大きく取ることができ。Nシリーズの熱時定数は、回転子温度上昇の低下により、Mシリーズより約20%大きくなった。この効果を比較すると表6のようになる。すなわち、断続負荷(50% ED)のときの使用可能出力は、旧形より5%大きくなり、起動し得る負荷GD²の限界は20%大きくなった。

以上の改良により汎用モートルの使用範囲をさらに拡大することが可能になった。

4. 新形Nシリーズの特長

新形汎用モートル(Nシリーズ)の特長は次のように要約される。

- (1) 防滴・保護性能がすぐれている。
モートル両端面の上部を密閉したため、防滴性能は完璧になり、異物の侵入による弊害はほとんどなくなった。
- (2) 温度上昇が低く、過負荷に強い。
冷却機構を理論的に検討した結果、冷却効率の向上に成功し、過負荷に強いモートルとなった。
- (3) Mシリーズの特長であった同心巻線方式、すぐれたトルク特性、グリース寿命の長い日立ラビシールドベアリングなどはNシリーズにもそのまま受け継がれている。

5. 結 言

防滴保護形汎用モートルの温度上昇と冷却について理論的検討を行ない、アルミダイカスト回転子の冷却ファンの改良により、冷却効率を大幅に向上させることができた。

これらの結果から、防滴・保護両性能にすぐれ過負荷に強い新形汎用モートル—Nシリーズ—を開発した。これにより、汎用モートルの適用範囲をさらに拡大することが可能となった。

以上、Nシリーズモートルの概要をまとめたが、需要家各位のご参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 泉頭, 山中: 日立評論 47, 1819 (昭40-11)
- (2) DIN 40050 (1966)
- (3) DIN 40060 (1960)
- (4) IEC Recommendation 2H(C.O) 4 (1966)
- (5) IEC Pub. 144 (1963)



特 許 の 紹 介



特許第511838号 (特公昭42-20013号)

高橋 長一郎・熊沢 武寿

マンホール内ケーブル支持方法およびその装置

この発明は、管路内に布設されているケーブルの、伸縮に伴うマンホール内設置のケーブル接続箱の移動を、きわめて円滑に行なえるケーブル支持方法および装置を提供するものであり、その内容は、管路2内に布設されたケーブル5を、マンホール1内にたるみ部(オフセット)を与えた状態で接続するとともに、管路口におけるケーブルの軸方向移動量を圧力伝達装置を介して接続箱6に伝え、ケーブルの移動量に相応した移動を接続箱6に与えるように構成したものである。

すなわち、ケーブル5が温度上昇により伸びた場合、ケーブル5は矢印のように接続箱6側に移動するから、この移動量は直ちにクランプ7をもって第1シリンダ9のピストン8に伝えられ、ピストン8の動きは油10を介して第2シリンダ13のピストン14に伝えられて、接続箱6を矢印のようにマンホール1の床面側に移動させてケーブル5の伸びに対応することができる。またケーブル5が収縮した場合は図の矢印が反対向きとなる。

さらにこの発明によると、ケーブルの管路2とケーブル接続箱6とが水平でない場合であっても、ケーブル5の伸縮に相応した動きを接続箱に与えることができるものであって、その動きは圧力伝達

装置を介して伝えられるからきわめて円滑であり、この結果マンホール内のケーブル網が複雑な場合でも、この発明を実施すると、マンホール内に所望のオフセットを整然と設置することができる利点がある。(斎藤)

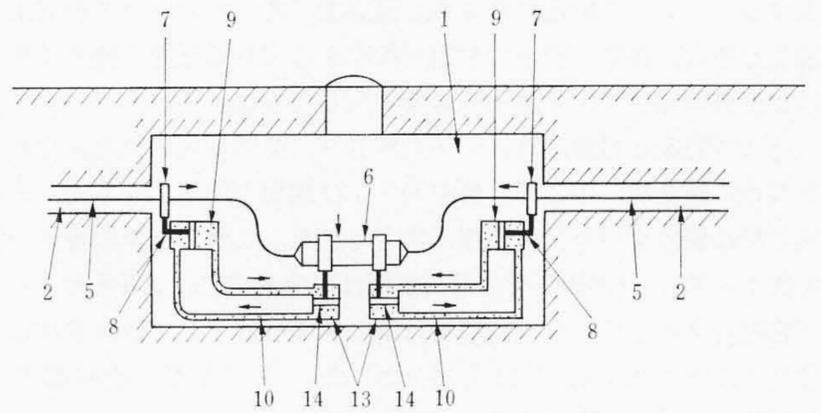


図 1



新 案 の 紹 介



登録実用新案第835929号

中西 一 清

ケ ー ブ ル 絶 縁 油 凍 結 装 置

OFケーブルなどの絶縁油加圧形ケーブル1を切断して接続を行なう場合、ケーブルの任意の部分の絶縁油を凍結することがある。この考案はこのような場合に適する絶縁油凍結装置にかかわるもので、凍結すべき部分のケーブル周上を包被できる二つ割りの内部槽2とこの外周を、内壁と外壁を有しさらに両壁間げきに油3を充填してなる二重壁の外部槽5および上部カバー4により包囲し、外部槽5の両側板にはケーブル通過用の切欠部を設け、前記内部槽2内には冷却剤6を注入し、その内部槽2と外部槽5の内壁との間げきには断熱体7を介在させて構成してある。

この考案によると、所望のケーブル部分の凍結を効率よく行なうことができるとともに、ケーブルの凍結部分が外力に対して弱体化しているのを、機械的に完全に保護できる利点がある。(斎藤)

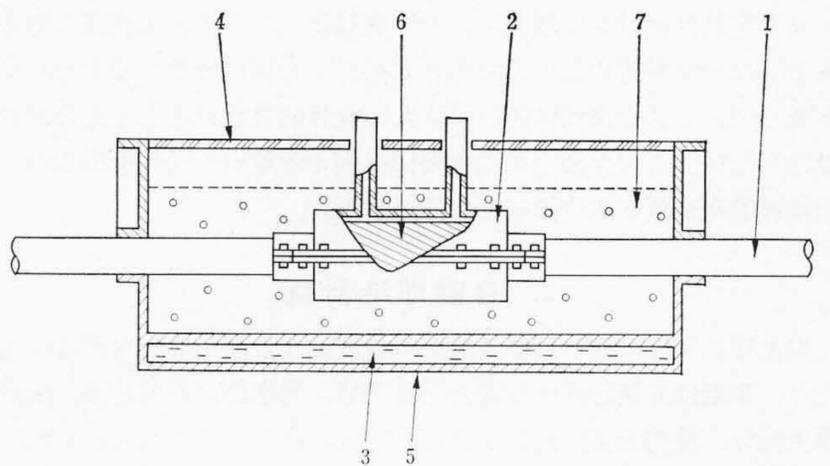


図 1