

低圧誘導電動機の絶縁

Insulations for Low-Voltage Induction Motors

最近の低圧誘導電動機は、小形・軽量化及び経済性に関する要求が強まっている。また用途が拡大し、使用環境が多様化するに従いますます高信頼度の絶縁構成が必要となっている。

これに対しては、品質の優れた絶縁材料を使用するとともに、製作工程の機械化に適した絶縁構成を採用している。

標準品は、オールポリエステル製のE種絶縁となっているが、中容量機種には、新しい耐熱材料で構成したF種を開発し、E種より30%の重量低減を図っている。

また高温用、冷媒用、水中用、家電用、その他用途の誘導電動機も、その使用環境に適した絶縁構成を採用し、機能試験を行なうことにより信頼性を確認している。

黒川 進* Kurokawa Susumu

弘中健一** Hironaka Kenichi

1 緒言

低圧誘導電動機(600V以下で使用するものをいう。以下、電動機と略す)の小形、軽量化と信頼性向上は、絶縁材料の進歩と設計・製作技術の改善に依存するところが多い。

近年、量産電動機コイルの製作は大幅に機械化されてきたが、優れた絶縁材料を採用することにより、品質の安定化と生産性の向上が図られている。

電動機絶縁の耐熱区分には種々あるが、現在、国内の標準はE種となっている。日立製作所は昭和39年にA種からE種に移行し、重量で30~40%に小形化した。更に、昭和45年に至り、中容量機種に対してE種より約30%軽量化したF種絶縁を採用している。

一方、電動機の機種、使用環境は多様化してきており、外被の保護構造の改善と併せて、それぞれの条件に適した絶縁構成を実用している。次に、その概要を述べる。

2 標準絶縁(E種)

E種絶縁には、コイルの許容温度120°Cで、長寿命と信頼性のあるポリエステル系絶縁を使用している。¹⁾

(1) 巻線には耐熱性に優れたポリエステル線を使用している。この線は適度のすべり性と耐摩耗性をもち、巻組線時の加工劣化が少ない。またワニス処理時にヒートショックやソルベントクレーシングを生ずることがなく適合性に優れている。

コイルの配置は、効率の高い特殊同心方式となっており²⁾、高速機械巻線後に鉄心スロット部へ自動的にそう入するか、1ターンずつ巻き込むじか巻き方式により製作している。

(2) スロット、相間、ウエッジには電氣的、機械的特性に優れたポリエステルフィルムを使用している。

(3) 絶縁ワニスには、不飽和ポリエステルを用い、コンベヤ方式により含浸、硬化し処理のスピードアップと品質の安定化を図っている。また一部の機種には、ドリップ処理を実用している。ドリップ処理とは、固定子を回転し、通電加熱しながらコイルにワニスを滴下する方法である。ワニスは、コイルの予熱温度で流動化し、重力と電磁振動及び毛細管現象により含浸する。浸せき法よりワニス付着量が多く、硬化が短時間に完了する。

なお、近年は、大気汚染防止、省資源の見地から溶剤ワニ

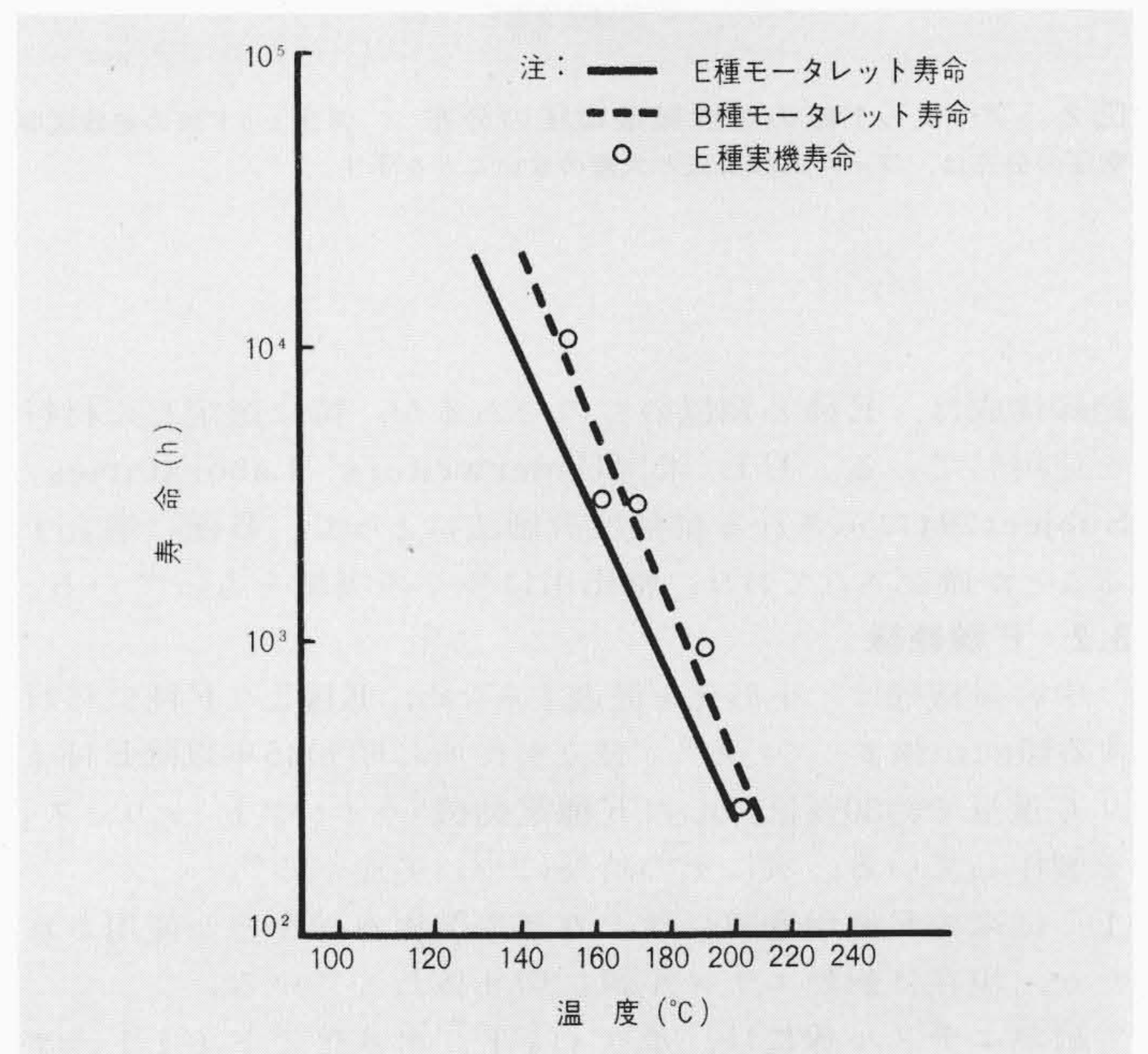


図1 E・B種絶縁の耐熱寿命直線 IEEE規格117により求めた寿命直線と実機寿命の関係を示す。

スより無溶剤ワニスに転換する傾向にある。

(4) 口出線は、従来のゴム系より絶縁性の良い難燃性架橋ポリエチレン絶縁電線を使用している。

以上の絶縁構成は、IEEE(米国電気電子学会)規格117(1974年)に規定されたモータレット試験及び製作ラインより抽出した実機の促進寿命試験により信頼性が確認されている。

図1に耐熱寿命直線を示す。

3 耐熱絶縁

3.1 B種絶縁

アメリカでは、我が国と異なり1964年以降、標準電動機の耐熱区分はA種よりB種に移行している。日立製作所は顧客の注文に応じ、経済的なB種絶縁電動機を製作している。この

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所多賀工場

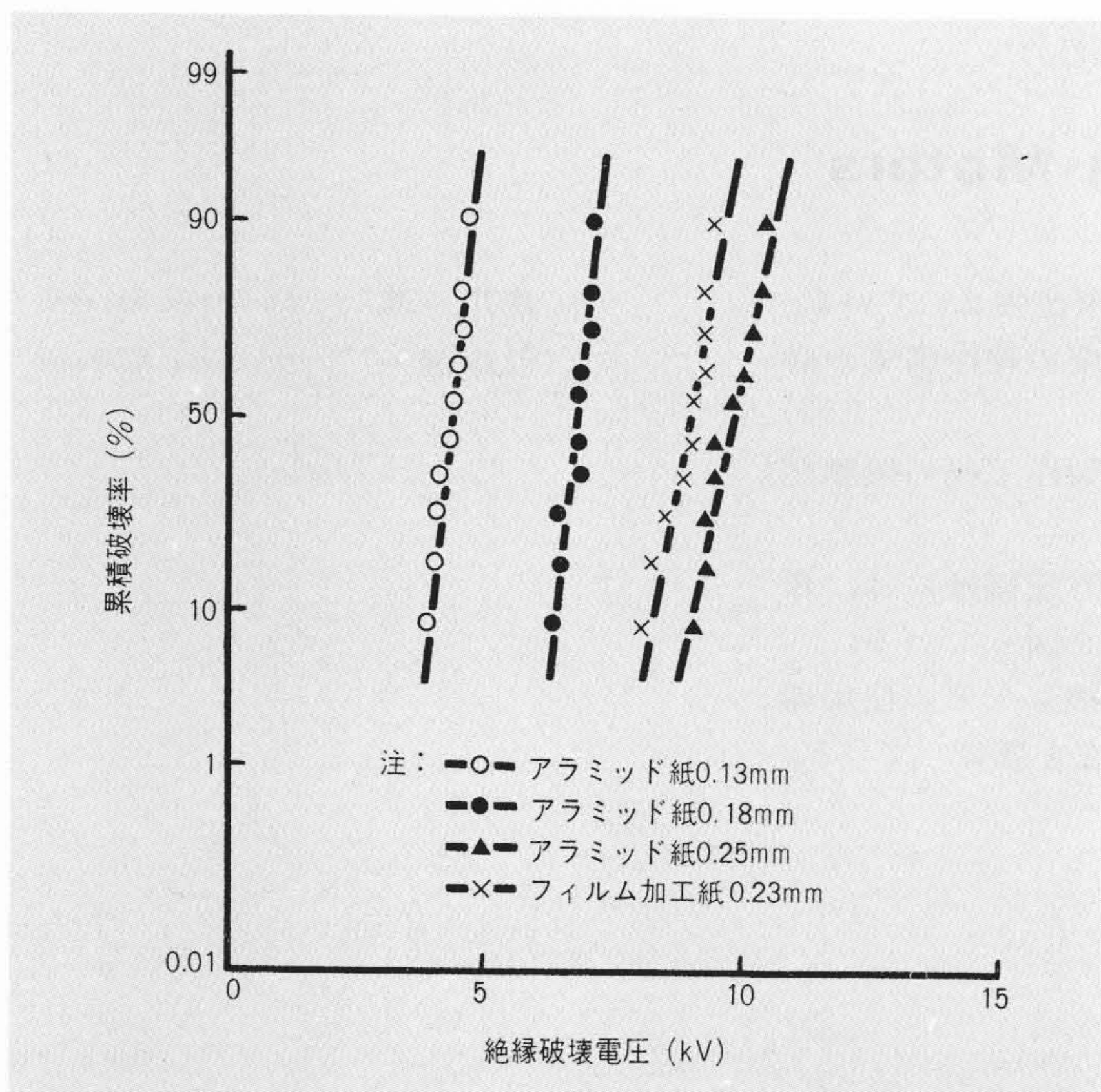


図2 アラミッド紙の絶縁破壊電圧の分布 アラミッド紙の絶縁破壊電圧の分布は、フィルム加工紙と大差のないことを示す。

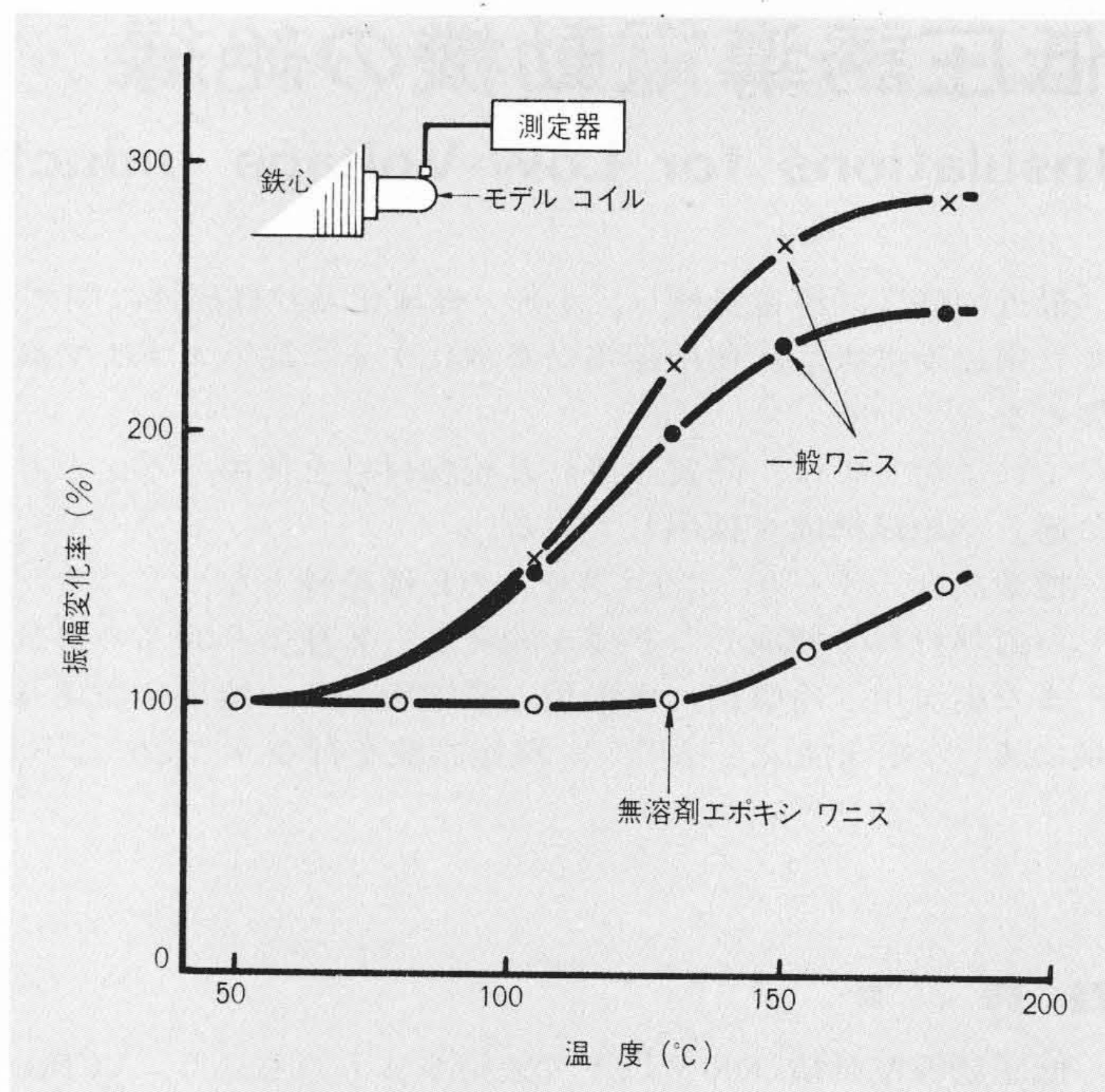


図3 コイル エンド振幅の温度特性 無溶剤エポキシ ワニスを含浸したコイルの剛性は高温でも安定している。

絶縁構成は、E種と類似のものであるが、特に選定した材料を使用している。UL(米国Underwriters' Laboratories) Subject794に示される耐熱度評価法によって、B種に適合することが確認されており、輸出用に多くの実績をもっている。

3.2 F種絶縁

中容量機種は、小形化を促進するため、E種よりF種に移行する傾向が強まっている³⁾。日立製作所は昭和45年以降E種よりも重量で約30%低減したF種電動機「ハイパクト シリーズ」を製作している。次にその特長について述べる⁴⁾。

(1) 従来のF種用巻線には、ガラス繊維巻線などが使用されたが、現在は耐熱エナメル線に切り替わっている。

耐熱エナメル線には、ポリイミド、ポリアミドイミド、ポリエステルイミド、あるいはこれらを組み合わせたダブルコート線などが開発されている。これらのエナメル線には、それぞれの特長があるが、ハイパクト絶縁には耐摩耗性、耐薬品性、耐過負荷性などの優れたポリアミドイミドを主体とした皮膜構成の電線を採用している。

(2) スロット及び相間絶縁には、アラミッド紙(Du Pont社のNOMEX)を使用している。アラミッド紙は芳香族ポリアミド繊維を熱圧着した合成繊維紙であり、耐熱性と機械的強度が優れている。絶縁耐力は、フィルム状絶縁物より低い、図2に示すように破壊電圧のばらつきが小さい。適度の厚みを選定することにより、低圧絶縁に要求される耐電圧値に余裕をもった構成とすることができる。

(3) コイルには、無溶剤エポキシ ワニスをドリップ処理している。この硬化物の熱変形温度は155°C以上を示し、高温接着力が高い特長をもっている。このため、コイルの剛性が高く、電磁振動などの機械的ストレスに対し耐久力の大きい構成となっている。図3に結果の一例を示す。

3.3 H種絶縁

主絶縁には、F種と同系統の材料を採用している。ワニス処理はシリコーン ワニスを繰り返し含浸している。

最近の傾向として、シリコーン ワニスより高温接着力の優れた有機系ワニスの開発が盛んになってきた。

4 特殊絶縁

4.1 耐冷媒絶縁

電気冷房機用電動機は、フッ素系冷媒中で使用される。冷媒は有機材料を軟化、溶解する作用が強いので、これに耐える絶縁材料を使用する。既に、コイル温度120°Cまでの絶縁構成を開発し実用に供している。

更に高温化の要求にも応じ得るよう、耐熱性ポリエステルイミド系エナメル線、エポキシ系ワニスなどが開発されている。この絶縁構成は、冷媒ふんい気を模擬したモータレット・オートクレーブ試験⁵⁾の結果によれば、F種に近い耐熱性をもつことが確認されており、実機に使用されている。

4.2 耐水(水中)絶縁

水中電動機は、コイルの全表面が直接水に触れるため、コイルは一般用とは異なる耐水絶縁線を採用している。この絶縁線の特長は、図4に示すとおり、導体に金属しゃへい層を介したポリエチレン絶縁・ナイロン シースの構造となっていることである⁶⁾。

この耐水絶縁線は、絶縁劣化の主要因とみられる水中トリイが発生しにくいことが確認されており、信頼性に富み、かつ長寿命である⁷⁾。

なお近年、小形量産機種は、キャンド方式の電動機に移行してきた。この方式は固定子電気部分を外わくと、内張りした薄肉円筒で完全密閉して耐水保護する構造となっている。この結果、耐水絶縁線のような被覆の厚い電線を用いる必要がなく、エナメル線の使用により耐熱性の向上、小形化、生産性の向上が可能となった。

日立製作所は、内部に独特のエポキシ樹脂を注入した絶縁方式を採用しているが、耐熱度はE種を満足し、かつ過負荷耐熱特性が優れた特長を持っている⁸⁾。

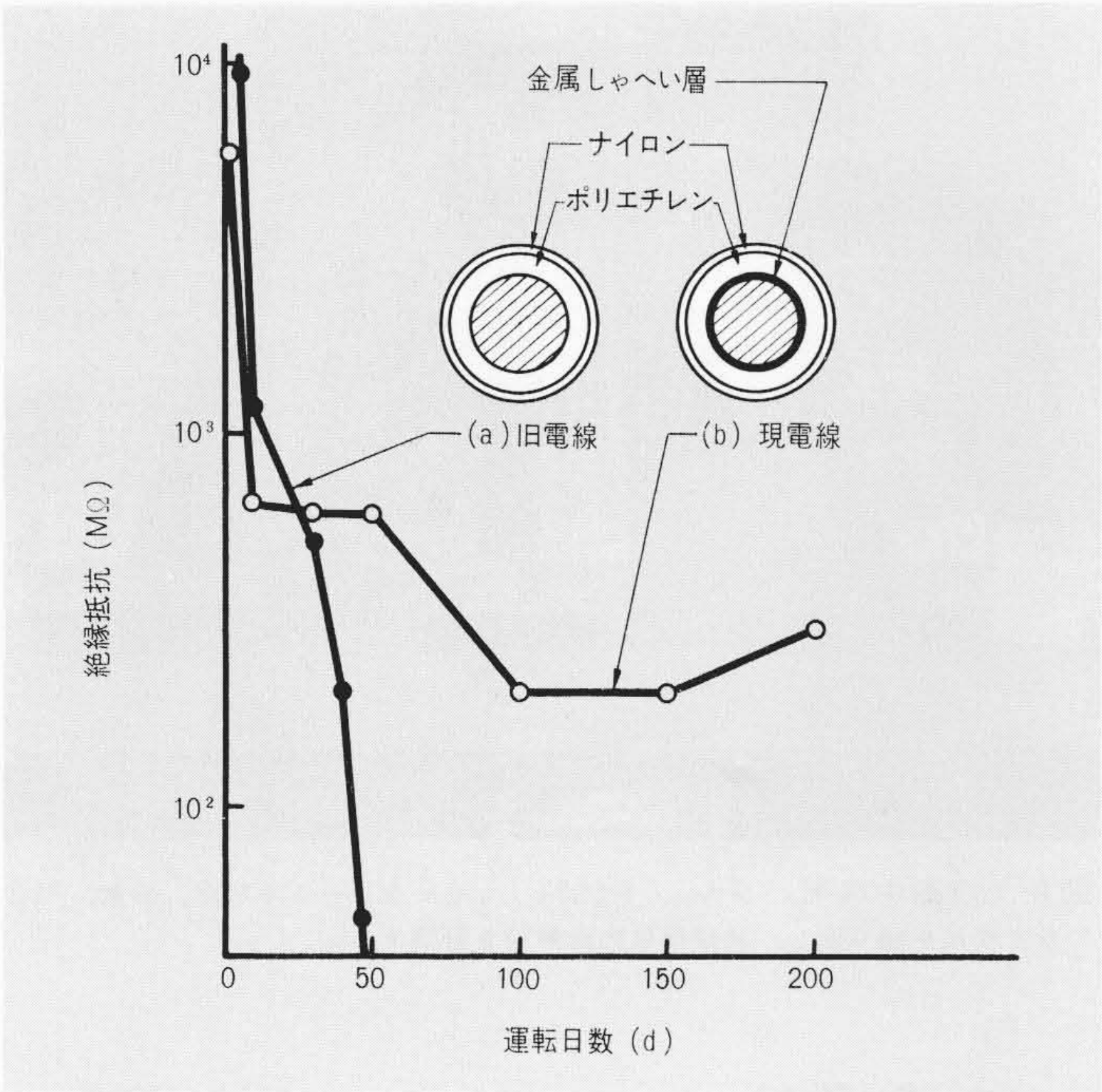


図4 耐水絶縁線の構造と促進劣化試験結果 特殊構造の耐水絶縁線を採用した水中電動機(3.7kW・2P)は絶縁劣化が少なく長寿命である。

4.3 防湿絶縁

コイル エンドに、結露するおそれのある環境で使用する電動機には、一般に防湿絶縁を採用する。防湿処理は、撥(はつ)水性に富むワニスを繰り返し処理し、防湿性を高めている。

また、耐湿性が格段に優れた耐水エナメル線を開発し、環境条件に応じて実用している。

防湿絶縁の試験結果の一例を図5に示す。

4.4 耐研削液絶縁

研削盤用電動機は、水溶性研削液ミストのふんい気で使用されることが多い。一般に、研削液はアルカリ性で導電率が高く、コイルに付着すると絶縁低下を起ししやすい。

このような状況でも、良好な絶縁性を保持する耐研削液絶縁を採用している。

耐研削液絶縁のコイルには、各種の研削液に最も耐えるポリアミドイミド系のエナメル線を使用している。このエナメル線は、皮膜が強じんで、巻組線時にピンホールがほとんど生じない特長をもっている。

ワニス処理は、エポキシ系を繰り返し含浸し、更に耐トラッキング性仕上ワニスを施している。

この絶縁構成の電動機を、研削液が噴霧される槽内で断続運転を長期間実施した結果、良好な絶縁性を示している。

4.5 防食絶縁

酸、アルカリ、塩類、有機溶剤など、絶縁に有害な薬品を扱う場所、例えば、化学工場などで使用する電動機は、通常全閉外扇形を使用しコイルを保護するが、慎重を期して防食処理を行なう。

防食処理は、環境条件・濃度に応じて区分されているが、ワニス処理回数を増し、更に耐薬品性のよい仕上げワニスを塗布している。

4.6 耐寒絶縁

近年、極寒地向け輸出や、冷凍室内で使用する電動機の需要が増えてきている。この電動機は、-60℃の環境で絶縁部

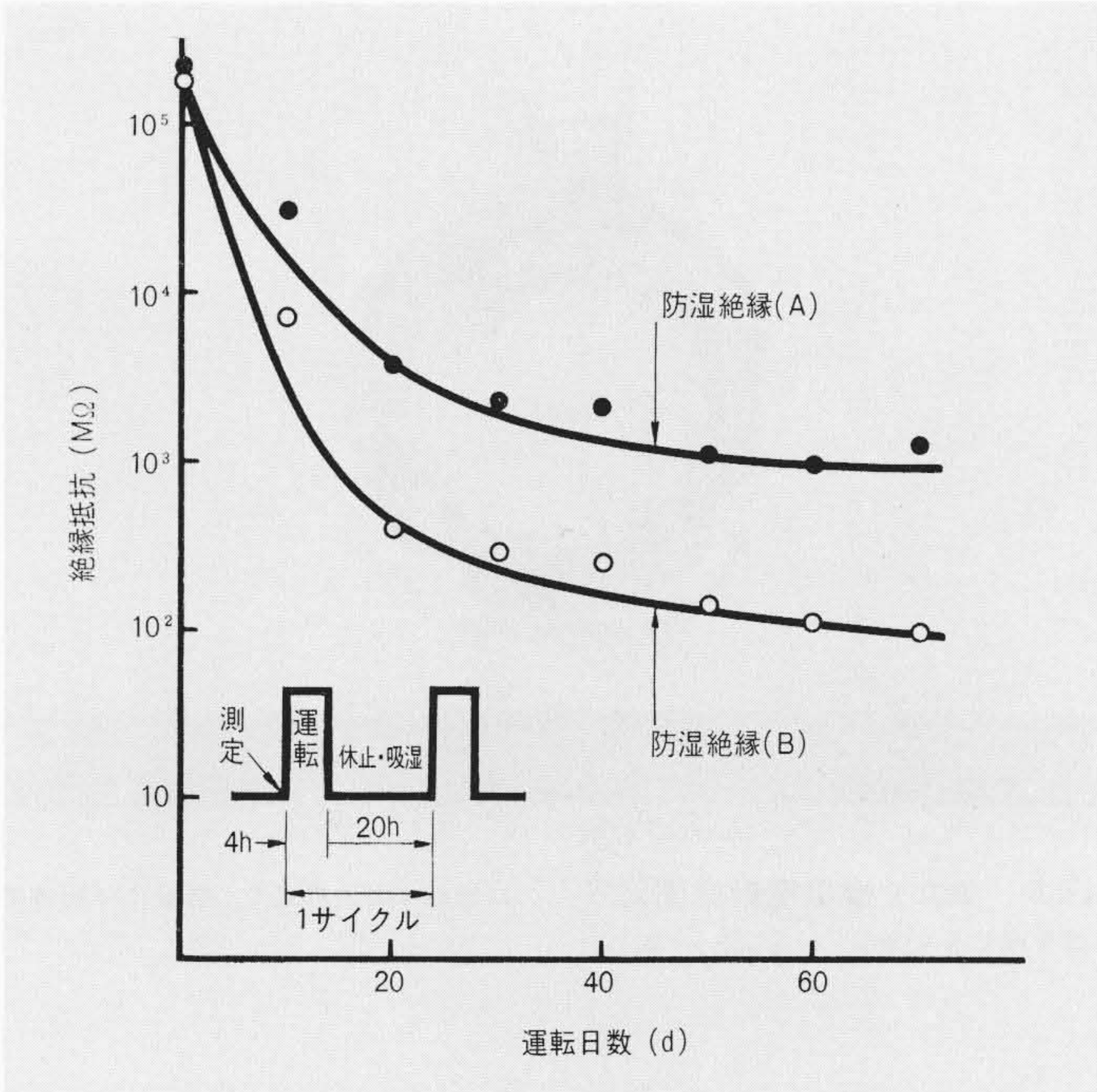


図5 防湿絶縁の湿熱試験結果 防湿処理を施した電動機(0.75kW・4P)の湿熱サイクル運転時の絶縁抵抗経時変化を示す。(A)はコイル エンド部が、結露するおそれのある電動機に使用する。

に異常のないことが要求される。

日立製作所の耐寒絶縁は、低温時にき裂、はく離のない、可とう性のワニス処理を施し、口出線は耐寒性のよい架橋ポリエチレン、又はシリコーンゴム絶縁線を採用している。

この電動機は、-60~+40℃のヒート サイクルを与えた後も、コイルに外観変化がなく、また絶縁特性の低下がない。

5 家電用電動機絶縁

家庭電気品用電動機としては、一般にかご形单相誘導電動機が用いられ、電源電圧は100V、絶縁階級はE種である。このような電動機の絶縁は、表1に示すような絶縁構成に推移して行くものと想定される(図6参照)。

6 絶縁機能評価

電動機の絶縁は、その信頼性と寿命に密接な関係を持つ。絶縁劣化の要因は、熱的、電氣的及び機械的ストレスと、使用環境による吸湿、汚染の相乗作用がある。これらの要因に

表1 家庭電気品用小形電動機の絶縁構成 絶縁は主として導体のエナメル皮膜により保持される方向に推移する。

区 分	これまでの絶縁構成	今後の絶縁構成
スロット絶縁	ポリエステル フィルム加工紙	ポリエステル フィルム
相間絶縁	ポリエステル フィルム加工紙	廃 止
ウエッジ	ファイバ	ポリエステル フィルム
しやり糸	あま糸	廃 止
ワニス処理	フェノール系ワニス	無溶剤ワニス：粉体処理
巻 線	ポリエステル線	ポリエステル線
口 出 線	塩化ビニル絶縁電線	端子式

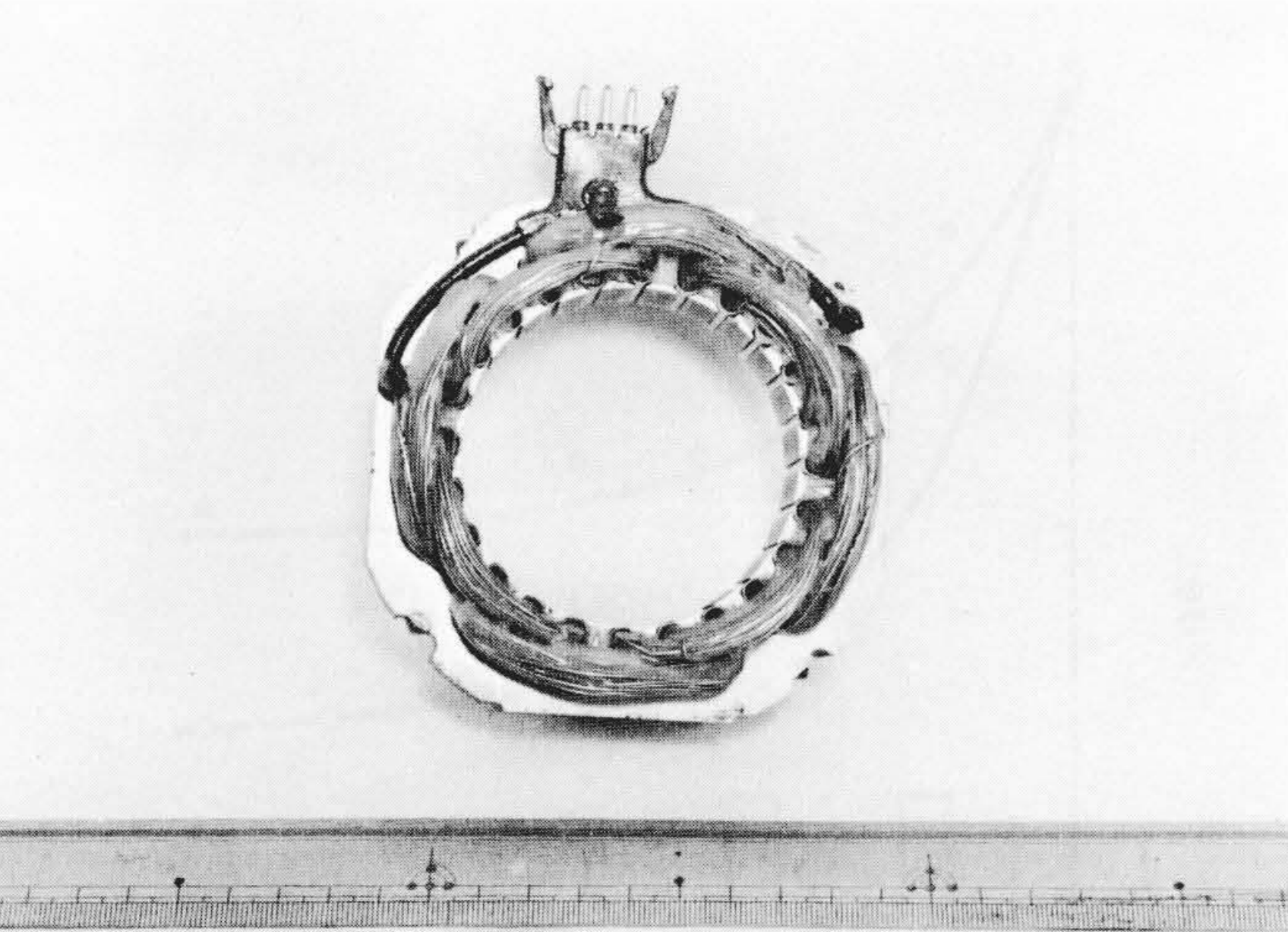


図6 洗たく機用電動機固定子 口出線は端子方式で、巻線には粉体処理を施している。

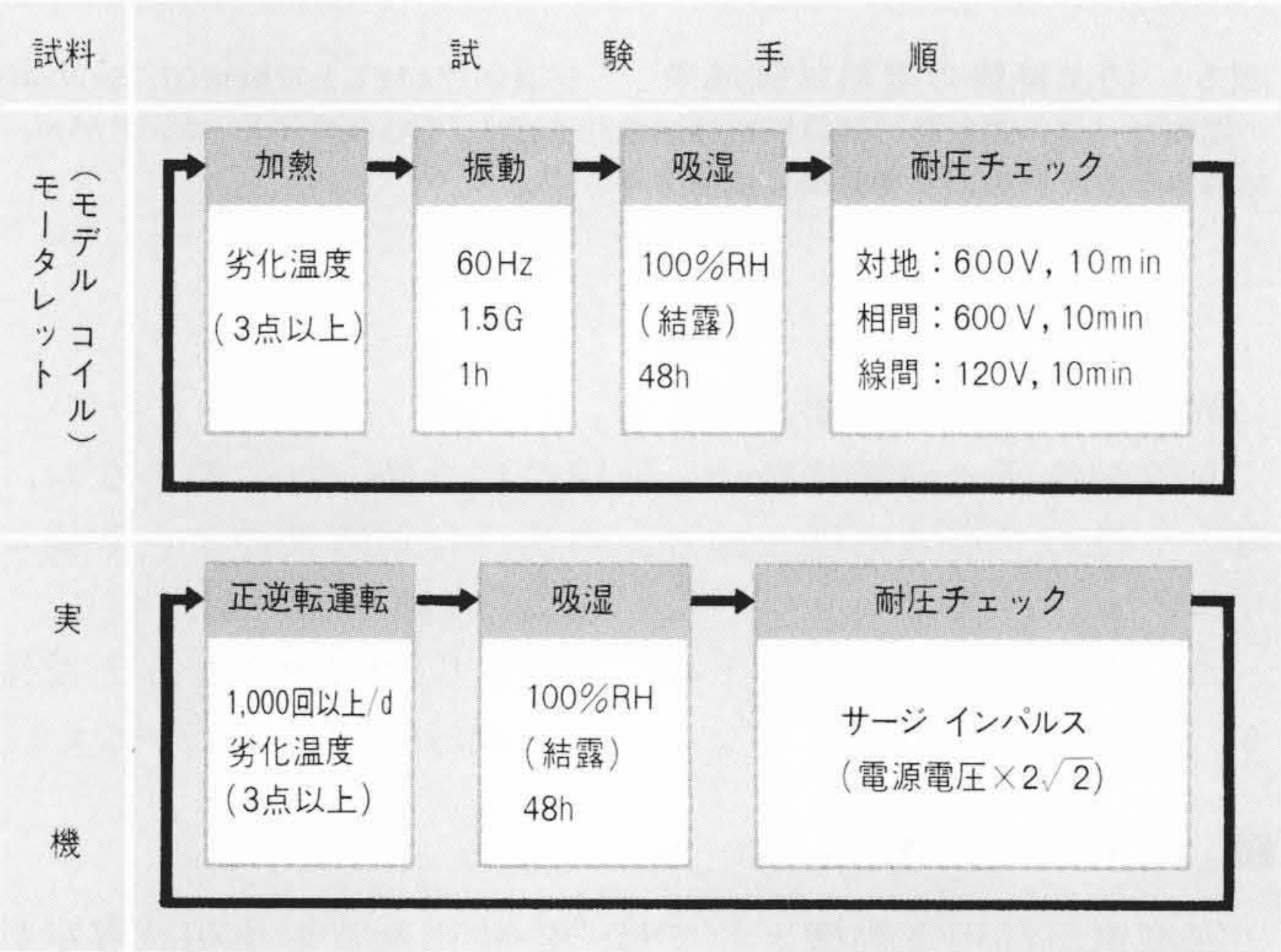


図7 絶縁機能評価方法 モータレット及び実機を使用した絶縁機能評価の試験手順を示す。

対して、劣化の少ない絶縁材料を選定することはもちろんであるが、最終的には各材料を組み合わせたモデル コイル及び実機を用いた機能評価の結果により絶縁構成を選定している。

通常の使用環境で使用するコイルの耐熱寿命は、IEEE 規格117により評価している。図7に試験スケジュールを示したが、熱劣化を3点以上の温度で加え絶縁破壊するまで繰り返し寿命直線を求めている。図8、9に試験の状況を示す。

また特殊な環境で使用する絶縁構成に対しては、図7の試験スケジュールに、コイルに触れることが予想される薬品やじんあいなどの汚染物に暴露又は付着させて寿命評価を行なう。

7 結 言

日立製作所における低圧誘導電動絶縁の概要について述べた。各種の絶縁構成は、永年の経験を積んだ絶縁技術により完成したもので、良好な使用実績をもち、信頼性が高いことが確認されている。

今後も、新しい絶縁構成の開発、改良を進め、顧客の要望

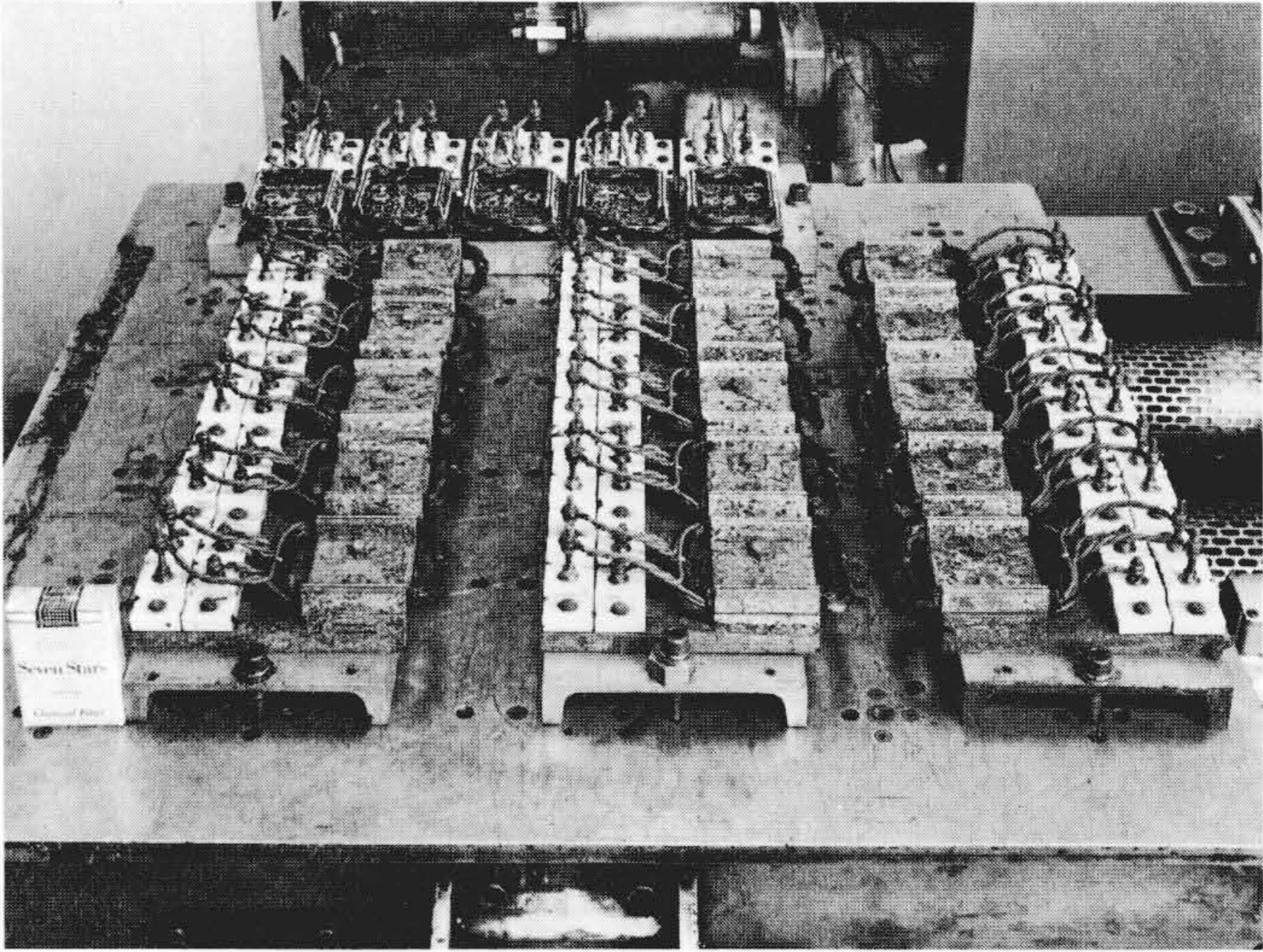


図8 振動中のモータレット試料 モータレットを加熱、振動、吸湿のサイクルを繰り返し、絶縁構成の耐熱性を評価する。

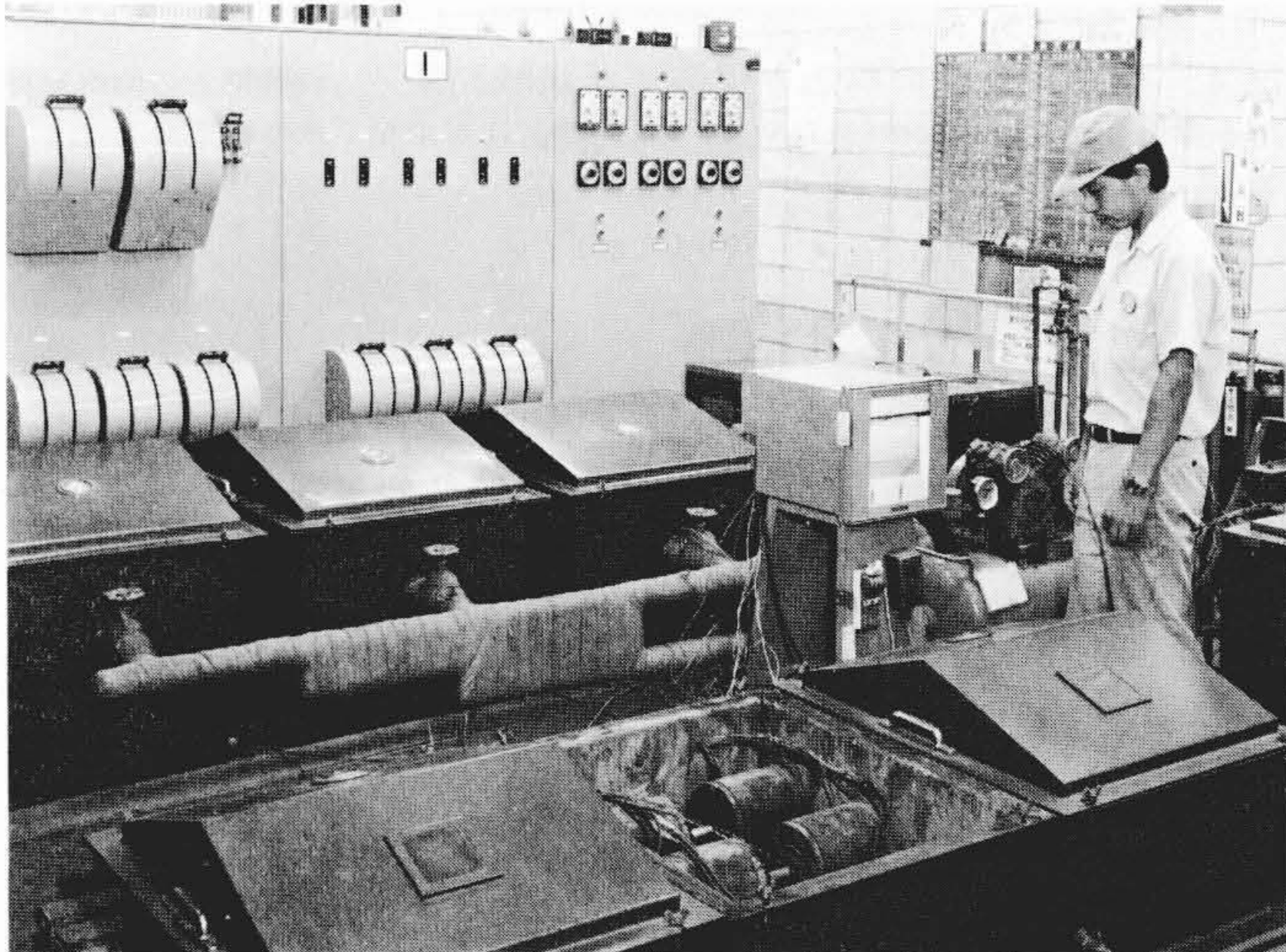


図9 電動機絶縁寿命試験装置 実機に正逆転運転・吸湿サイクルを与え、寿命評価する装置を示す。

にこたえるよう努める考えである。

参考文献

- 1) 泉頭, 山中:「日立E種絶縁汎用モートル」, 日立評論, 47, 1819(昭40-11)
- 2) 園山:「三相誘導電動機の新巻線方式」, 日立評論, 51, 609(昭44-7)
- 3) J.H.Brockmann: "European Design Trends in Standard Class F A C Motors", Proceedings 10th E.I.C. (1971)
- 4) 浜野, 山岡:「新形日立F種モートル“ハイパクトシリーズ”」, 日立評論, 52, 986(昭45-11)
- 5) 徳永ほか:「密閉形電動機絶縁組織の評価法」, 日立評論, 55, 349(昭48-4)
- 6) 大和田, 鎌田:「水中モートルとその絶縁特性」, 日立評論, 47, 509(昭40-3)
- 7) 宮下ほか:「水中モートル用絶縁電線の寿命評価」, 日立評論, 52, 587 (昭45-7)
- 8) 大和田ほか:「キャンド水中モートルとその絶縁特性」, 日立評論, 57, 701(昭50-8)