

各種エナメル線の寿命 (第3報)

—モートレット法および Turn to Turn 法による耐熱寿命の推定—

Thermal Life of Various Enameled Wires (Part III)

Thermal Stability of Magnet Wires Evaluated by Motorette and Turn to Turn Methods

古賀正臣*
Masaomi Koga

内 容 梗 概

各種エナメル線の耐熱寿命試験法として一般に推奨されているモートレット試験法、および筆者が考案した方法 (Turn to Turn 法) を用い、ホルマール線、ヒタエステル線などのエナメル線および綿巻線、ガラス巻線、テレグラスワイヤなどの横巻線について寿命試験を行なった結果、

- (1) 二重綿巻線とホルマール線が大体同程度の耐熱寿命を有すること。
- (2) 吸湿条件が 90% RH 程度ではガラス巻線やテレグラスワイヤにモートレット試験を適用することは無理であること。
- (3) Turn to Turn 法ではエナメル線と横巻線の寿命比較も可能であり、経済的で有効な方法として推奨できること。

などの興味ある結果をえたのでこれらを取りまとめて報告する。

1. 緒 言

最近になって、合成化学のめざましい進歩により、数多くの新しい絶縁材料が紹介されたこと、またこれらの材料を、より効果的に使用する必要から、絶縁材料の温度区分、ひいては寿命試験法の問題が各国で取りあげられるようになった。

マグネットワイヤの分野においても AIEE (American Institute of Electrical Engineers) が 1954 年に主としてエナメル線を対象に寿命試験法に関する試案⁽¹⁾を提示して以来、IEC (International Electrotechnical Committee) を中心に活発な議論が展開されている。

わが国でも昭和 31 年 12 月、電気学会電線技術委員会のもとにマグネットワイヤ専門委員会が設置され AIEE 試案に準じエナメル線を対象とした耐熱寿命試験を行ない、その耐熱度を検討した。その調査結果は電気学会技術報告⁽²⁾として発表されている。

日立製作所社内においても広く絶縁材料の耐熱度を明確にするため、電工部会第 4 (絶縁材料) 分科会のもとに耐熱区分小委員会を作り、これらの問題の検討を進めてきた。本報告はその一環としての寿命試験方法の検討、試験結果を要約したものである。

マグネットワイヤの寿命評価方法にも後述するとおり、種々考えられ、筆者も先にエナメル線単独による耐熱寿命比較結果について報告⁽³⁾したが、実際の使用に際しては絶縁ワニスとの組み合わせその他種々影響を及ぼす因子もあり、これらを調べておくことも重要である。そこで昭和 32 年 10 月以来、モートレット試験装置を用いた寿命試験を行なうと同時に、さらに他の簡便な方法もあわせて検討し、現在に至っている。

2. マグネットワイヤの熱劣化試験方法

マグネットワイヤの熱劣化試験方法の概要については先にも報告⁽⁴⁾したが、これを要約すると第 1 表のように分類できる。

これらの方法を用いて、電線単独、あるいはコイルワニスとの簡単な組み合わせ試験片に対する寿命試験はある程度まで可能である。しかしさらに機能的で各種絶縁材料との組み合わせの形で試験する方法としてモートレット試験法⁽¹⁴⁾が提案されている。

第 1 表 各種試験方法

分類	試験方法	判定基準の例
電線単独によるもの	1. 試料を加熱し、一定径のマンドレルに巻付けき裂の発生を調べる。	3 倍径 ⁽⁵⁾ , 30 倍径 ⁽⁶⁾
	2. 試料を加熱した後ねん回し、皮膜がはく離する回数を調べる。	ねん回はく離数 50% ⁽³⁾ , または 0 ⁽⁷⁾
	3. 試料を加熱した後伸張し、き裂を生ずる伸長率を調べる。	伸長率 30% ⁽⁸⁾
	4. 加熱による重量減少、皮膜厚減少を調べる。	重量減少 15%, 30% ⁽⁸⁾ , 皮膜厚減少 30%, 50% ⁽⁸⁾
	5. 分解ガスの発生量を調べる ⁽⁷⁾ 。	
コイルワニスなどの組み合わせによるもの	1. より合わせた線をワニス処理し、加熱後の破壊電圧をチェックする (より合わせ法)。	破壊電圧が初期値の 50% ⁽³⁾ , 電圧 1 kV ⁽¹¹⁾ , 2 kV ⁽¹²⁾
	2. 試料数本を束にしてワニス処理し、これを劣化させる (デフレクテッドビーム法)。	
	3. 試料を金属製ポピンに巻き、ワニス処理し、劣化後の破壊電圧 ⁽¹²⁾ , $\tan \delta$, 絶縁抵抗 ⁽¹⁴⁾ を測る。	$\tan \delta$ が最小, 絶縁抵抗が最高になるところ

2.1 モートレット試験法

モータ絶縁系の劣化試験はもちろん、実際にモータを運転して行なうのが理想的であるが、試験個数を多くすれば、多額の費用を要するので信頼性のあるデータを得るためには経済的負担が大きくなる。

したがってモータに準じた次善の方法として考案されたのが AIEE のモートレット試験法で、この方法による研究結果については多くの報告⁽¹⁵⁾が見られる。

この方法はモータのステータの一部を取出した形でモデルコイルを作り、これを加熱、吸湿、振動などの各条件に暴露し、耐熱寿命を推定しようとするものである。

試験条件を第 2 表にまとめて示した。これらの条件を次のように組み合わせて 1 サイクルとするものである。

加熱→電圧チェック (1 分間)→振動 (1 時間)→電圧チェック (1 分)→吸湿 (3 日)→電圧チェック (15 分)

..... 1 サイクルの構成

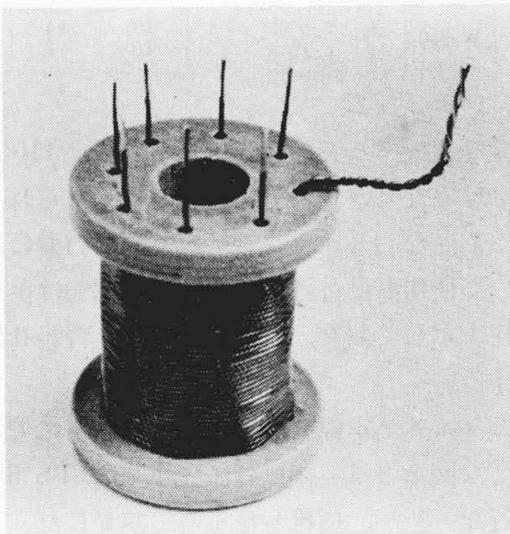
2.2 Turn to Turn 試験法

前述のとおり、モートレット試験は実用機器に最も近い機能試験を目的とするため、かなりの工数と費用を必要とする。筆者はさらに簡単でしかも機能的な方法として Balke 氏⁽¹⁶⁾が電線とワニスの

* 日立電線株式会社電線工場

第2表 モータレット試験条件

条件	試料の推定許容温度(°C)	試験温度と1サイクルの加熱日数			
		180°C, 2日	160°C, 8日	140°C, 28日	125°C, 49日
加熱	A種 105°C	180°C, 2日	160°C, 8日	140°C, 28日	125°C, 49日
	B種 130°C	200°C, 2日	180°C, 8日	160°C, 28日	140°C, 49日
	H種 180°C	300°C, 2日	280°C, 8日	260°C, 28日	240°C, 49日
振動	振動数	振幅	時間	方向	
	60 c/s	8ミル (約0.2mm)	1 h	コイル面に直角	
吸湿	温度	湿度	期間		
	常温+5~10°C	100%RH	72h		
チェック電圧	モータ仕様	線間	層間	大地間	
	250V 以下 440~550V	60V 120V	300V 600V	300V 600V	



第1図 T to T 試験試料

適合性の検討に用いた Turn to Turn (以下 T to T と略称する) 試験法を応用し、これに振動、吸湿条件を加味することを試みた。構造の詳細は後に述べるが、第1図に示すように磁器製ボビンの胴にそって平行に数本の供試線を並べ、そのうえに同じ供試線を一定張力で巻付け、ワニス処理を行なったものである。この方法では1個の試料で数個のデータが得られ、試験工数が節減できると同時に試料も安価であるなどの利点がある。

3. 各種マグネットワイヤ試験結果

3.1 モータレット法による場合

3.1.1 構造および試験条件

筆者が行なったモータレット試験も、だいたい先に述べた AIEE の方法に準拠したがいくぶん変更したところもある。

第2図は試験用モータレットの分解および組立後の写真である。

スロット寸法およびその絶縁構成は第3図に示すもので、供試線としては導体径 1.0 mm 1種のものを用いた。また各エナメル線、横巻線とも上下コイルいずれも2本並列とし前者は10回、後者は8回巻とした。

また試験条件として、吸湿を 40°C 90% RH 3日間とし、チェック電圧は線間 120 V、層間、大地間は 600 V とした。

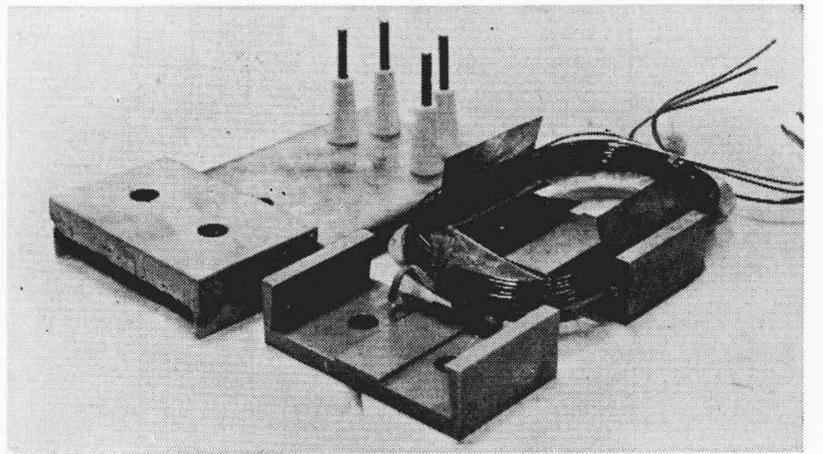
各供試線の耐熱度を考慮し、ホルマール線、ヒタウレタン線は A 種、ヒタエステル線は B 種に相当する加熱温度と日数を用いた。第3図で明らかのように、層間および大地間絶縁およびウェッジにガラス基材の H 種材料を使用したのは実験の目的があくまで電線相互間の比較を対象としているので、必ず線間で破壊させようと計画したためである。

3.1.2 使用ワニスとその処理条件

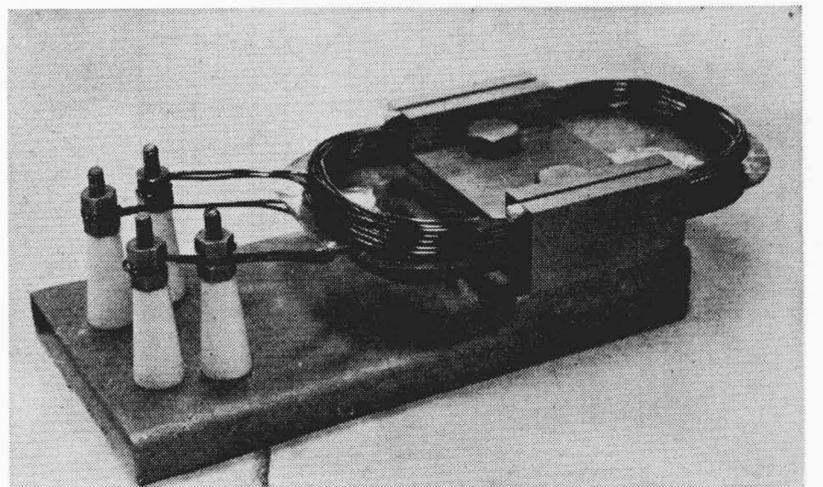
使用したコイルワニスの種類とその処理条件を第3表に示した。またワニス処理後の加熱乾燥は残留溶剤の影響を少なくする

第3表 使用ワニスと処理条件

供試線	コイルワニス	処理条件
ホルマール線	W-250, W-231 WI-293	真空度 0.1 mmHg ワニス含浸 40°C, 30分 滴下 30分 加熱 120°C, 6時間 (ただし WI-292, 293 の場合はさらに 135°C 2時間追加加熱した)
ヒタウレタン線	W-250	
ヒタエステル線	W-250, W-231 PS-202, PS-51 WI-291, WI-293 W-2,300	
二重綿巻線	W-231, WI-239	

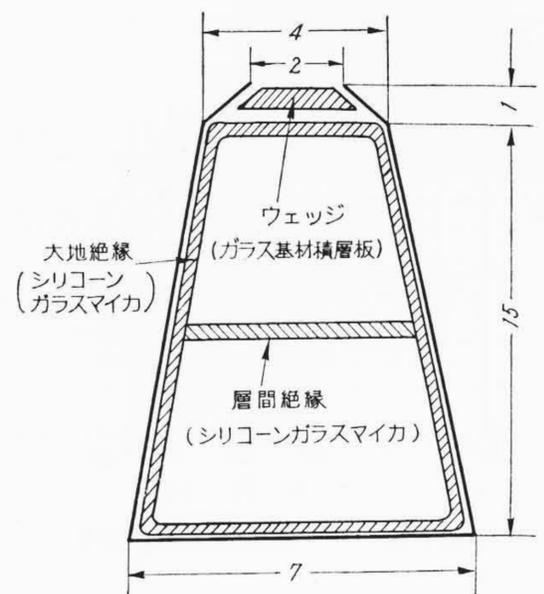


(a) 分解したところ



(b) 組み立てたところ

第2図 モータレット試験試料



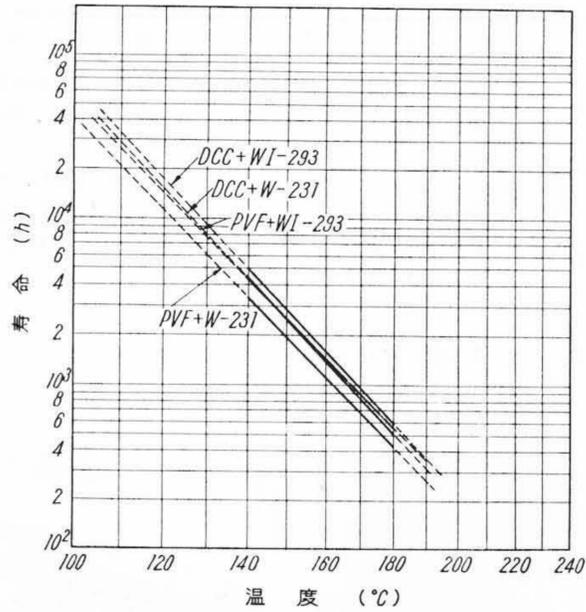
第3図 スロット寸法と絶縁構成

目的で比較的長時間とした。

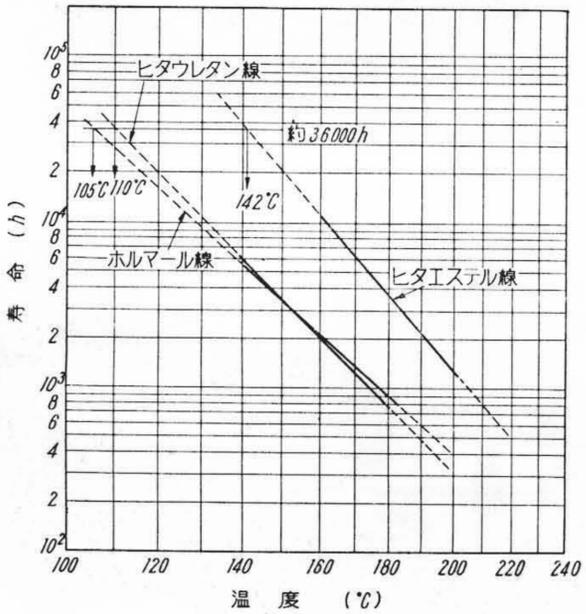
3.1.3 試験結果

試験の結果を第4~6図に示す。

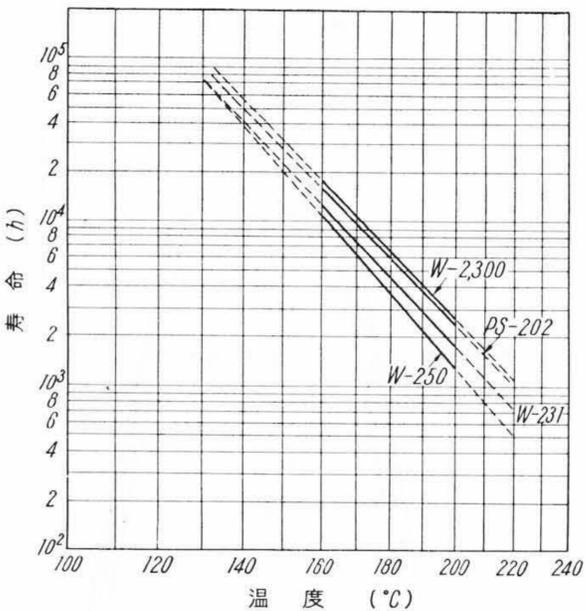
第4図はホルマール線と綿巻線を同一ワニスで処理しその耐熱寿命を比較したもので、綿巻線のほうが少し良い耐熱度を示しているが顕著ではない。ホルマール線の出現以来、綿巻線はしだい



第4図 ホルマル線 (PVF) と綿巻線 (DCC) の寿命比較



第5図 エナメル線の寿命比較 (W-250)



第6図 ヒタエステル線の寿命

にホルマル線に代ってきているが耐熱寿命の点では一般に信じられているほどホルマル線が良いとはいえないようである。もちろん吸湿条件を 40°C 90% RH にしたため結果的には綿巻線に有利な試験条件になったことは推定できるが興味深い問題である。

第5図はいずれも W-250 ワニスで処理したホルマル線、ヒタウレタン線、ヒタエステル線の寿命を比較したものである。この図からホルマル線をA種(105°C)とし、その寿命時間約36,000

第4表 電圧チェック時期による破壊率の比較 (%) (ヒタエステル線の例)

加熱条件	加熱後	振動後	吸湿後	計
220°C 2日	37.5 (15)	8.4 (0)	54.1 (85)	100 (100)
200°C 8日	4.7 (3.8)	0 (7.4)	95.3 (88.8)	100 (100)
180°C 28日	2.9 (10)	0 (0)	97.1 (90)	100 (100)

() 内数字は T to T 試験の場合である。

第5表 上下コイルの破壊個数比較

線種	ワニス	上下別	200°C	180°C	160°C	140°C	合計
ヒタエステル線	W-250	上コイル	9	12	20		41
		下コイル	14	9	19		42
ヒタウレタン線	W-250	上コイル		7	7	12	26
		下コイル		6	9	8	23
ホルマル線	W-250	上コイル		10	4	6	20
		下コイル		10	7	4	21

時間で耐熱度を比較すると、ヒタウレタン線は 110°C、ヒタエステル線は 142°C となりホルマル線よりもそれぞれ 5°C、37°C 高いことがわかる。なおヒタウレタン線は高温の寿命はホルマル線よりも短いが使用温度付近の比較的低温部ではホルマル線よりも長い寿命を示しており、この傾向はより合わせ法での試験結果とも一致する。

第6図はヒタエステル線を種々のコイルワニスで処理したときの寿命比較で、図示のワニス以外に WI-292, PS-51 などについても試験を行なったが、煩雑となるので割愛した。いずれも W-231 と PS-202 の中間に位する。

図で明らかのように、ヒタエステル線の場合 W-2300, PS-202 が最も良い結果を示しているが、実用温度に近づくと、その差が比較的少なくなっていることから考えると実用上、いずれのワニスでも極端な差はないものと考えられる。もちろんこの結論はあくまでスロット絶縁系に H 種材料を使用し、モートレットのワニス含浸後の加熱乾燥を十分に行なった場合のことで、加熱乾燥が不十分なほど残留溶剤の悪影響を受けて高温における寿命が短くなることは明らかで、その点では PS-202 のような無溶剤形のワニス有利と思われる。

3.1.4 破壊状況

前述のとおり、モートレット試験は加熱、振動吸湿のくり返しを行ない、その各条件にさらすごとに電圧チェックを行ない破壊状況を調べるわけであるが、第4表に電圧チェック時期と破壊率の関係を示す。

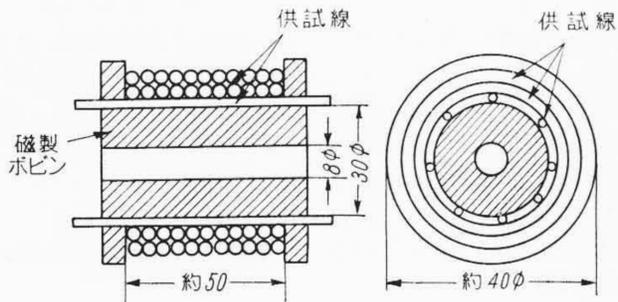
表はヒタエステル線の場合であるが、約 80% は吸湿後の電圧チェックで破壊が検出されている。この原因はもちろん、90% RH の高湿にさらされた後であること、また吸湿後の電圧チェックの印加時間が他の場合よりも長いと考える。興味深いことは試験温度が高いもの、特に 220°C の場合には加熱後に 37.5% も破壊しており、低温になるほど吸湿後の破壊率が増加していることである。この傾向は同表括弧内に示した T to T 試験法の場合にもいえる。

次にこの実験では層間、大地間の破壊は起きないように計画しているの上コイルと下コイルで破壊する割合を比較すると第5表に示すように各エナメル線とも、ほとんど差が見られない。

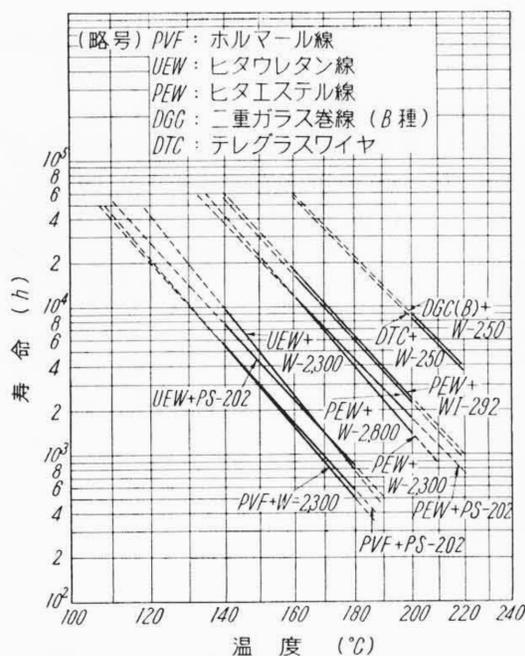
3.2 T to T 法による場合

3.2.1 構造および試験条件

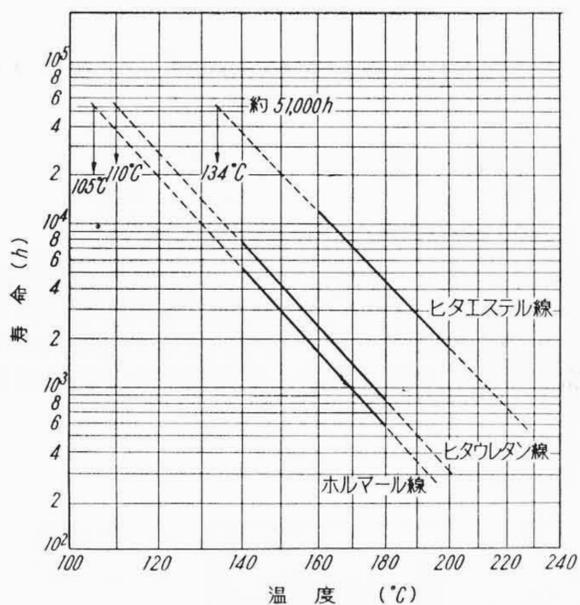
第7図に示すように磁器製ボビンの軸方向に胴にそって平行に7本の供試線を並べ、その上に同一供試線を 4 kg の張力で2層に巻付け、これと7本の電線間の電圧チェックを行ない破壊を調べた。



第7図 T to T 試験試料の構造



第8図 各種マグネットワイヤの寿命 (T to T 法)



第9図 エナメル線の寿命比較 (PS-202 処理) (T to T 法)

エナメル線はモートレット法の場合と同一のもので、さらにモートレット法で破壊しなかった二重ガラス巻線、テレグラスワイヤも追加した。

加熱、振動、吸湿などの諸条件はモートレット法の場合と全く同じにしたが、チェック電圧は一応 300 V に選定した。ただしこの電圧値は試験結果をモートレット法の場合と比較検討し、今後はさらに最適の値に変更する必要があると考えている。

3.2.2 試験結果

試験の結果を第8図にまとめて示した。図で明らかのように T to T 法によって耐熱寿命評価が可能であること、また二重ガラス巻線やテレグラスワイヤに対しても有効であることがわかったが、このことは T to T 法の一つの大きな収穫といえる。なぜなら、AIEE のモートレット試験ではガラス巻線はその対象になっていないし、エナメル線のような皮膜絶縁のマグネットワイヤと横巻線のような繊維質絶縁のマグネットワイヤとはその構造が

異なるため同一方法による寿命比較は困難と考えられていたからである。最近井関氏⁽¹⁷⁾がモートレット法により、ポリエステルエナメル線と二重ガラス巻線の寿命比較を試みているが同氏も述べているとおり、湿度 90% RH 程度の吸湿条件では破壊の検出がほとんど不可能で、100% RH+露の条件を必要とするため試験結果を誤解する恐れがある。この点 T to T 法ではその心配がなく、エナメル線類と横巻線類の耐熱寿命の比較に適している。

興味深いことはヒタエステル線 (ポリエステルエナメル線) が一応 JEC⁽¹⁸⁾で B 種 (130°C) に認められたが、従来のガラス巻線などに比べて、かなり短い寿命を示していることで、マグネットワイヤにおいてはスペーサの役割をなす骨材の重要性が再認識される。

第9図は PS-202 ワニスで処理したホルマール線、ヒタウレタン線、ヒタエステル線の T to T 法による寿命である。この図でモートレット法の場合に試みたように、ホルマール線を A 種 (105°C) と仮定し、他のエナメル線の耐熱度を調べると、ヒタウレタン線 110°C、ヒタエステル線 134°C となる。

これらの結果を先に述べたモートレット試験の結果と比較すると、寿命基準に選んだ時間 (寿命) は 36,000 時間、および 51,000 時間と T to T 法が長い、ホルマール線、ヒタウレタン線はそれぞれ 105°C、110°C を示し全く同一となり、ヒタエステル線ではモートレット法が 8°C だけ高い程度で比較的良く一致することがわかる。

以上を総合して考えると、少なくともスロット絶縁系を考慮しない電線相互の比較だけを目的とするなら T to T 法はモートレット法同様に有力な寿命試験方法であるうえに、ガラス巻線、テレグラスワイヤにも応用でき、より経済的で簡便な方法といえる。

4. 結 言

モートレット法、および筆者が試みた T to T 法による寿命試験を中心にマグネットワイヤの寿命評価の問題について検討した結果、

- (1) 綿巻線はモートレット法により耐熱度の評価が可能であり、大体ホルマール線と同じ耐熱度を有する。しかし、ガラス巻線、テレグラスワイヤのように耐熱性の横巻線は湿度 90% RH 程度の吸湿条件を加味したモートレット試験では 220°C で 3,000 時間以上加熱劣化させても破壊せずこの方法による評価は無理である。
- (2) モートレット試験による各種エナメル線の耐熱度は電線単独で比較した場合よりも線種間の耐熱度差が少なくなる傾向にある。特にヒタエステル線のように耐熱劣化性の良好なものではこの傾向が著しく、たとえば、より合わせ法による耐熱度よりも相当に低い結果となる。モートレット試験の場合、振動、吸湿のサイクルが含まれるため、熱以外の因子が当然寿命に影響するためと考えられる。
- (3) T to T 法の場合、90% RH の吸湿条件でも十分、ガラス巻線、テレグラスワイヤの寿命評価が可能であり、またエナメル線ではその結果がモートレット法の結果と比較的良く一致するので、経済的で簡便な方法として推奨できる。
- (4) ガラス巻線、テレグラスワイヤのように骨材がスペーサの役目を果す構造のマグネットワイヤは骨材のないエナメル線などに比べて、かなり高い耐熱寿命を有することを再認識した。
- (5) 処理ワニスの含浸および乾燥を十分に行ない、かつ、スロット絶縁物に耐熱性のすぐれた材料を用いた場合、処理ワニスの相違がエナメル線の寿命に及ぼす影響はあまり顕著ではないことがわかった。

くり返し述べたとおり、以上の試験は電線相互間の比較を目的としたため、スロット絶縁材料、コイルワニス処理条件の影響などについては触れなかった。

もちろんしばしば強調されているように、電気機器の耐熱寿命はマグネットワイヤおよび絶縁材料個々の耐熱度で評価できるものではなく、各種絶縁材料が相互に影響しあい、これらの組み合わせの適切さ (Compatibility) が重要なことはいままでの間。

そのほか平角マグネットワイヤの寿命評価についても種々興味ある問題が残されているが、これらについては次の機会に譲ることにする。

終りに本試験の計画、実施に当り、種々ご指導、ご激励をいただいた間瀬部長および日立製作所電工部会委員各位、ならびに実験に協力された浜村君に謝意を表す。

参 考 文 献

(1) AIEE Standard No. 57 (Oct. 1955)
 (2) 電気学会技術報告, 44, 27 (昭36-2)
 (3) 古賀, 中里: 日立評論別冊, 28, 67 (昭33-12)

(4) 間瀬, 古賀: 日立評論別冊, 21, 48 (昭32-12)
 (5) Ralph Hall: AIEE Winter General Meeting, p. 14 (1954)
 (6) 大橋, 西崎: 東芝レビュー, 10 (11) 1018 (昭30-11)
 (7) 間瀬: 電学誌, 73, 881 (昭28-8)
 (8) J. R. Elliott, F. M. Boldebuck, W. F. Gieliam: Communication & Electronics, 557 (Sept. 1955)
 (9) 日野: 電学誌, 79, 921 (昭34-8)
 (10) F. A. Sattler, C. B. Leap: Electrical Manufacturing, 56 (July. 1955)
 (11) C. J. Herman, K. N. Mathes: Communication & Electronics, 561 (Nov. 1955)
 (12) E. L. Brancato, R. S. Phillips: AIEE Trans. Paper, 55-48
 (13) E. L. Brancato: Communication & Electronics, 202 (May. 1953)
 (14) AIEE Standard No. 510 (Nov. 1956)
 (15) たとえば E. L. Brancato, L. M. Johnson, H. P. Walker: Electrical Manufacturing, 146 (Nov. 1959)
 (16) R. L. Balke: AIEE Trans. 75, Part III, 53 (1956)
 (17) 井関, 矢田: 電気4学会連合大会, 515 (昭36)
 (18) JEC-147



特 許 の 紹 介



特許第272211号

田上八十次

制 動 装 置 用 非 常 弁 装 置

M形三動弁などを用いた古い形式の制動装置においては、常用制動により制動管が減圧され、補助空気溜と制動管との空気圧力が平均し、その後さらに非常制動を行なうとしても、付加空気溜には高圧空気を容しながら非常制動が作用しないという欠点がある。

この発明は古い形式の制動装置に非常弁装置を設け、常用制動使用後においても非常制動が有効に作用するようにして新しい形式の制動装置と同等の性能を得るようにしたものである。

2は膜板3をはさんで弁体1に固着された弁体、4は弁体1の下部中央に設けられ制動管に連通する通路、5は弁体1の側面に設けられ付加空気溜に連通する通路、6は弁体2の側面に設けられ制動管に連通する通路、7、8は弁体1、2内に膜板3をはさんで互いに締め付け(螺着)られた膜板守、9は膜板守7と一体に形成され常時通路4を閉塞している非常弁、10は調整バネ11を調整する調整ネジ、12はふた(蓋)、13は非常弁室、14は調整バネ室であって、調整バネ11は周知の制動装置のように、たとえば制動管内所定空気圧力が5 kg/cm²の場合には、非常弁室13内と調整バネ室14内との圧力差が1.5 kg/cm²以上、すなわち無効減圧以上になると非常弁9が開弁するように調整ネジ10により調整しておく。

常用制動により制動管内空気圧力が無効減圧に、すなわち1.5 kg/cm²減圧されると、調整バネ室14内圧力は空気圧力3.5 kg/cm²+調整バネ11圧力1.5 kg/cm²=5 kg/cm²となり、付加空気溜に連通する非常弁室13内空気圧力5 kg/cm²と釣り合う。その後さらに非常制動を行なうため制動管内空気圧力が無効減圧以上すなわち1.5 kg

/cm²以上減圧されると、調整バネ室14内圧力と非常弁室13内空気圧力との均衡は破れ、膜板3は非常弁室13内の空気圧力により押し上げられ非常弁9を開弁する。従って付加空気溜内の圧力空気は通路5、非常弁室13、通路4を経て制動管に至り非常制動が作用する。

