

3.3kV 級 型 巻 コ イ ル の 耐 熱 寿 命 試 験

The Thermal Life Tests for 3.3 kV Form-Wound Coils

井 上 利 夫*
Toshio Inoue兼 子 慶 市*
Keiichi Kaneko島 崎 譲*
Yuzuru Shimazaki

内 容 梗 概

旧絶縁方式に比べ非常に絶縁厚さを薄くできる 3.3kV 級マイラマイカ絶縁の耐熱寿命を評価するため、同一絶縁仕様のモデルモータコイルとモデルモータにより試験を行なった。前者は AIEE の試験方法に準拠した加熱、振動、吸湿を 1 サイクルとした繰り返し試験、すなわちモータレット試験により、後者は自己加熱法により加熱運転させ、運転中は常規対地電圧を印加する方法により検討した。この結果、3.3kV 級マイラマイカの耐熱寿命は B 種として十分使用できる性能をもっていることを明らかにするとともに、この種の型巻巻線の耐熱寿命試験として本方法は有意義なものと認められるようになった。

1. 緒 言

近年、合成樹脂系のすぐれた絶縁材料が数多く出現しており、これら材料を電気機器に効果的に使用するため機器の絶縁寿命を確実に、かつできるだけ早期に知る必要があり、的確な寿命評価法の必要性が強調されている。従来の寿命評価は熱的要因を主体にした加速熱劣化試験により概略の寿命を推定してきたのであるが、絶縁劣化は熱的要因だけではなく実用時の機械的振動、吸湿、コロナ、電気分解などによっても大きく左右される。最近、材料単独で推定した寿命と、機器についていくつかの材料を組み合わせた絶縁組織での寿命が相違することが明らかになり、材料単独の寿命からこれら材料の組み合わせによる絶縁組織の寿命を推定することは複雑で単純なものではないことがわかってきた。したがって、絶縁組織の寿命を機器の実用に即した条件を加味した一連の機能試験 (Functional Tests) により評価することが必要となる。もちろん、実用機により寿命試験を行なうのが最も信頼性のある寿命を求める手段であるが、実際には経済的に不可能なので実用機の主要な構成要素を等価的に縮小した“Motorette”により実用機の寿命に近似した寿命を求めようとするものである。この機能試験はアメリカで開発されたものですでに AIEE から“拾い込み巻線”(Random-Wound) 機器を対象とした Test Procedure. No. 1 C⁽¹⁾、さらにこれの改訂である No. 510⁽²⁾が、また“型巻巻線”(Form-Wound) 機器を対象とした Proposed Test Procedure. No. 511⁽³⁾がそれぞれ公表されている。前者の方法は数回の改訂が行なわれ、またこの方法によるマグネットワイヤ関係の報告が数多く発表⁽⁴⁾され、かなり試験手順の上での技術的進歩が見受けられる。後者の型巻巻線機器を対象とした寿命評価法については報告があまり発表されていないし、試験手順についても未改訂のままで決定的な Test Cord も発表されていないようである。

3.3kV 級電動機コイルはこれまでマイカペーパーを使用しているが裏打材のペーパーをマイラに代えると破壊電圧が高くなり、絶縁厚さを非常に薄くすることができる。マイラは E 種絶縁物と考えられているが、これとマイカを組み合わせたマイラマイカがはたして B 種になるか F 種に耐えるものかについてはわかっていない。筆者らは絶縁厚さの縮小も含めて 3.3kV 級マイラマイカ絶縁型巻コイルの耐熱区分がどうなるかを調べることにした。寿命評価試験は AIEE, No. 511 に準じて行ない、本方法の有意性をもあわせて検討した。その結果、本絶縁は B 種として十分使用可能である結論 (F 種にもはいると思われるがまだ結論に達していない) を得たので、ここにこれらを取りまとめ報告する。

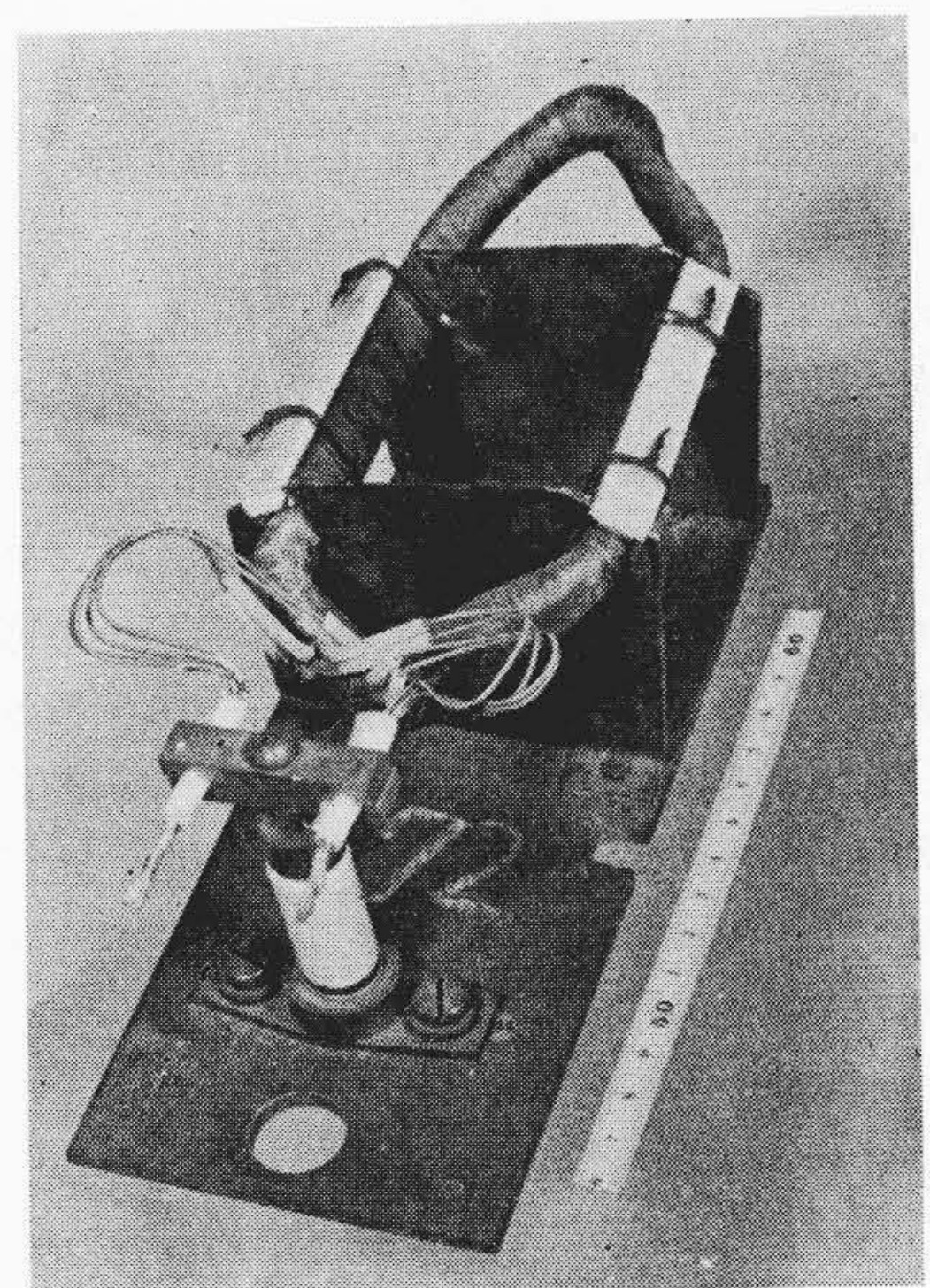
* 日立製作所日立研究所

2. モータレット試験

3.3kV 級マイラマイカ絶縁を B 種として検討するため AIEE, No. 511 に準じて実施した。AIEE ではモータレット試験とモータ試験に分かれているが本報ではモデルであることの表示を含めモデルモータコイル試験とモデルモータ試験と呼称することにし、両試験の関連性をも求めるようにした。

2.1 供 試 コ イ ル

モデルモータコイル試験用コイルとモデルモータ試験用コイルとは形状、寸法とも同一のもので線間の耐圧試験ができるように 4 本並列巻き、8 本口出しのコイルとした。モデルモータコイル試験台はステンレス鋼と黄銅を組み合わせた耐食構造としモデルモータコアと同一寸法にした。モデルモータコイルをモデルモータコイル試



第 1 図 モデルモータコイル試験用試料の外観

第 1 表 モデルモータの仕様

出力	力	1 HP, 3φ
極数	数	4 P
回転数	数	1,500 rpm
中性点印加電圧	電 圧	1,900V (3,300/√3 V)
運転電圧	電 圧	150~175V
運転温度	温 度	160°C, 180°C
スロット数	数	24
電配線	線	0.8φ DGC または DTC
コイル種別	列 別	4 列 7 段 2 層
巻線	型 巻	型 巻
結線	法	1 列 Y 4 本口出し

第 2 表 モデルモータ試験およびモデルモータコイル試験の供試コイル仕様と加熱温度一覧表

主絶縁	素線	試験項目 加熱温度	モデルモータ試験		モデルモータコイル試験			
			160°C	180°C	140°C	160°C	180°C	200°C
マイラマイカ	二重ガラス巻線	—	—	—	10本	10本	10本	10本*
	二重テリレンガラス巻線	2台	2台	—	10本	10本	9本	9本*
マイカペーパー	二重ガラス巻線	2台	2台	—	—	—	—	—
	二重テリレンガラス巻線	—	—	—	—	—	—	—

* 200°CはF種として検討した。

第 3 表 モータレット試験法の最適加熱温度と加熱日数

耐熱区分	B	F
加熱温度(°C)		
230	—	—
220	—	1 日
210	—	2 日
200	1 日	4 日
190	2 日	7 日
180	4 日	14 日
170	7 日	28 日
160	14 日	49 日
150	28 日	—
140	49 日	—
130	—	—

験台に組み込んだ状態を第 1 図に示す。

モデルモータは 1 HP の 3 相誘導電動機を改造して 3.3 kV 級仕様とし常時 3.3 kV 級の使用電圧を印加し、加熱は自己加熱法(Self Heating Method)により温度を 160°C と 180°C に調節できるようにした(モデルモータ仕様: 第 1 表, 外観: 第 2 図)。

モデルモータコイル試験およびモデルモータ試験用の供試コイル仕様を第 2 表に示した。マイカペーパー絶縁とマイラマイカ絶縁の差はモデルモータ試験により、また二重ガラス巻線(DGC)と二重テリレンガラス巻線(DTC)との差はモデルモータコイル試験により検討できるよう計画した。

2.2 試験方法

2.2.1 モデルモータコイル試験

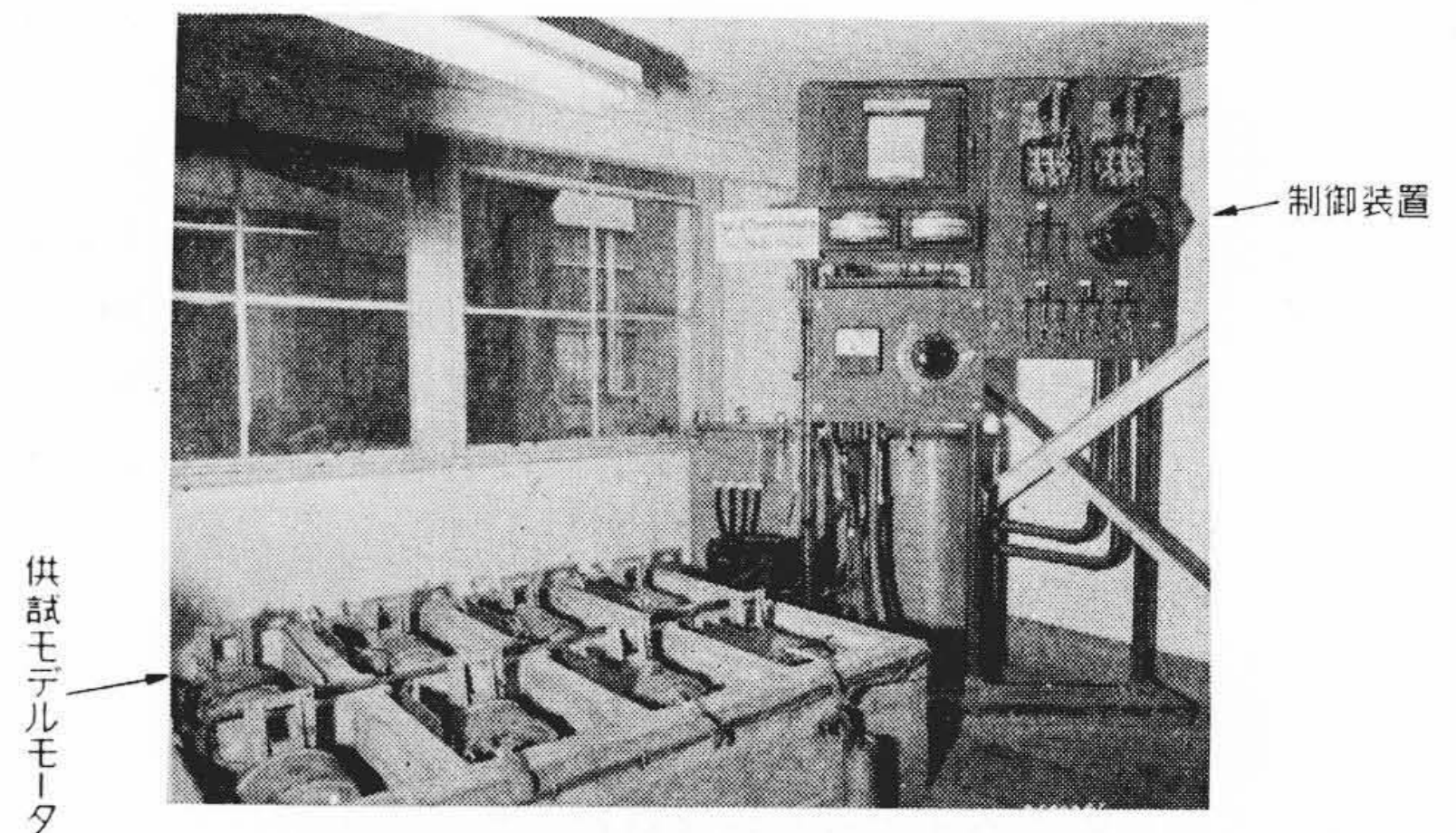
加熱温度と供試コイルとの関係を第 2 表に示したが、これを第 3 図に示したような手順で試験した。所定温度における一定期間の加熱後、定温槽から供試コイルを取り出し、冷え切らないうちに電圧チェックを対地間と線間に実施した。ついで機械的衝撃をコイルに加える意味で 0.29 mm (全振幅)、50 c/s 振動をコイル水平面に対して垂直方向に 1 時間加えた。これを終了後、40°C の定温定湿槽内に入れ、徐々に湿度を高めて 40°C、90% RH に調節し、この湿度条件下に 7 日間保持した。吸湿後の電圧チェックは定温定湿槽から取り出し、直ちに常温下で行なった。以上を 1 サイクルとし、1 サイクル終了後は引き続き次サイクルに移る。試験は全試料が破壊するまで繰り返す予定で実施した。

AIEE で提案している最適加熱温度と加熱日数の関係は第 3 表(B 種および F 種のみ転載)のようであるが本試験では 200°C—4 日、180°C—4 日、160°C—14 日、140°C—49 日とした。ただし、この中 200°C は特に F 種として検討するために採り入れたもので、B 種で試験するとすれば加熱日数は 1 日となる。機械的振動条件としては AIEE の提案値を採用した。吸湿条件については AIEE で 40°C、100% RH+露、2 日間を提案しているが 100% RH+露付着はきびしすぎる条件で実用的でないとの判断から、40°C、90% RH、7 日間とした。7 日間吸湿の根拠はこの程度の日数で吸湿が大体飽和値に達することを確かめたためである。電圧チェックについては機器定格を基にしている AIEE の提案値を採用した。これによると本絶縁のように 3.3 kV 級の場合、第 4 表のようである。線間の

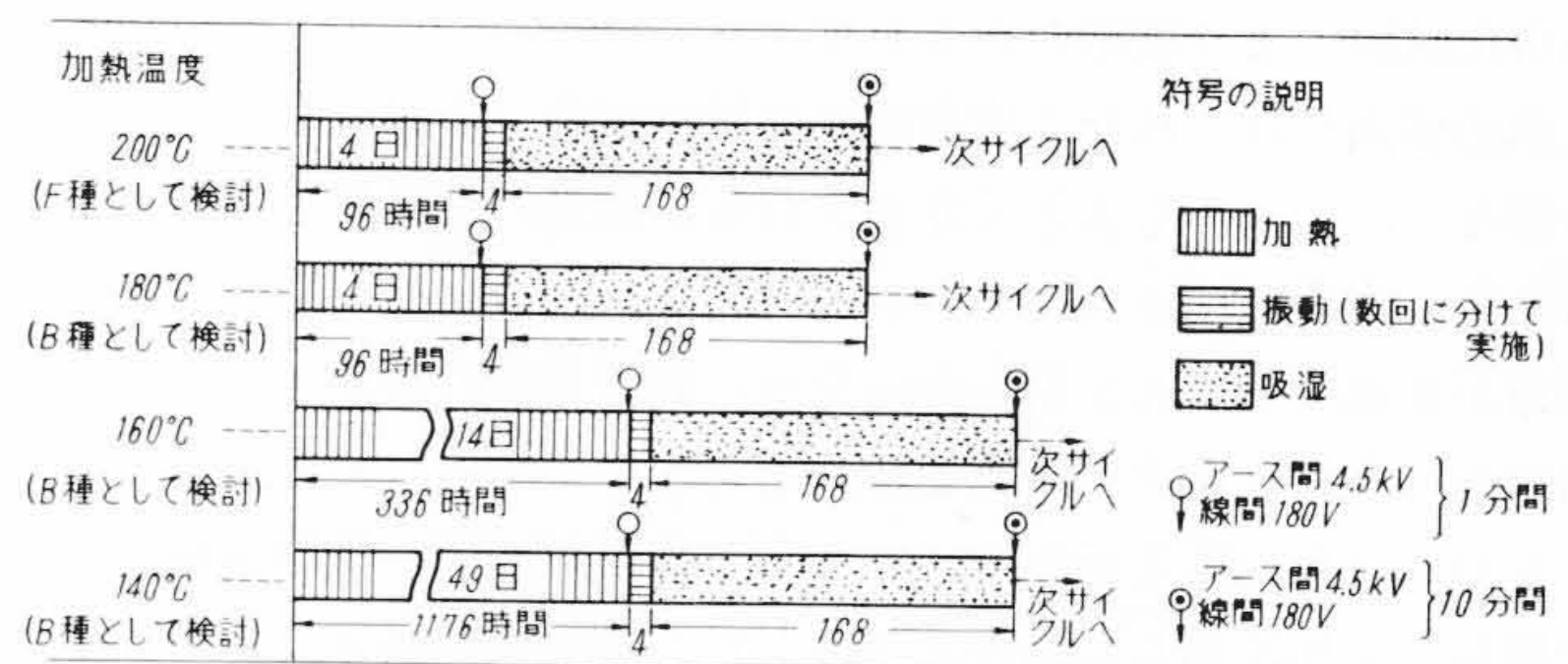
第 4 表 チェック電圧および印加時間

運転時の定格線間電圧 (V) (rms)	チェック電圧と印加時間			
	コイル—対地間電圧 (rms) と印加時間		導線—導線間電圧 (rms) と印加時間	
	加熱後	4,500V 1 分間	加熱後	60V(180V*) 1 分間
2,501~3,500	吸湿後	4,500V 10 分間	吸湿後	60V(180V*) 10 分間

* 140°C—8 サイクル、160°C—16 サイクル、180°C—21 サイクル、200°C—7 サイクルからそれぞれ 180V に上げて電圧チェックした。



第 2 図 モデルモータ試験装置



第 3 図 モデルモータコイル試験の手順一覧表

チェック電圧は著しく低いいため試験の途中から 3 倍の 180V に昇圧して試験を続行した。

以上のようにして、試験サイクルを繰り返したが各温度ともに 10 サイクルを過ぎても寿命に至らず予想外に多くの時間を要することが推測されたので適当なサイクル数(時間)において全試料の半数について破壊試験を行ない、この試験結果から寿命—温度関係直線を求め、B 種最高使用温度(130°C)における寿命を推定した。

2.2.2 モデルモータ試験

モデルモータ試験の加熱温度、固定子絶縁および台数を第 2 表に示す。

モデルモータ試験手順における加熱方法としては(1)自己加熱法(Self Heating Method)と(2)炉内加熱法(Oven Method)とがあるが、前者の方法が実際に近いと考えられたのでこの方法を採用した。すなわち、無負荷運転で必要な巻線温度になるよう巻線の電流密度を増したものでスロット内にそう入したサーモカップルにより温度を自動制御(運転電圧を変化)した。加熱運転中は常時、常規対地電圧(実際の印加電圧は $3,300/\sqrt{3}$ V + 運転電圧 $150 \sim 175/\sqrt{3}$ V)を中性点に印加し、さらに起動時の突入電流(定常電流の 3~4 倍)による巻線の温度上昇と機械的応力を与える意味で 1.5 分間隔に正逆回転を行なった。これら加熱運転手順を第 4 図に示す。供試モデルモータは全台数が 8 台なので 4 台ずつ 2 系列に分け、一つの系列では 160°C に、ほかの一つの系列では 180°C に加熱運転した。もしも、供試モデルモータが運転中に絶縁破壊した場合には装置中に組み込んだ保護継電器により電源

第5表 モデルモータコイル試験結果

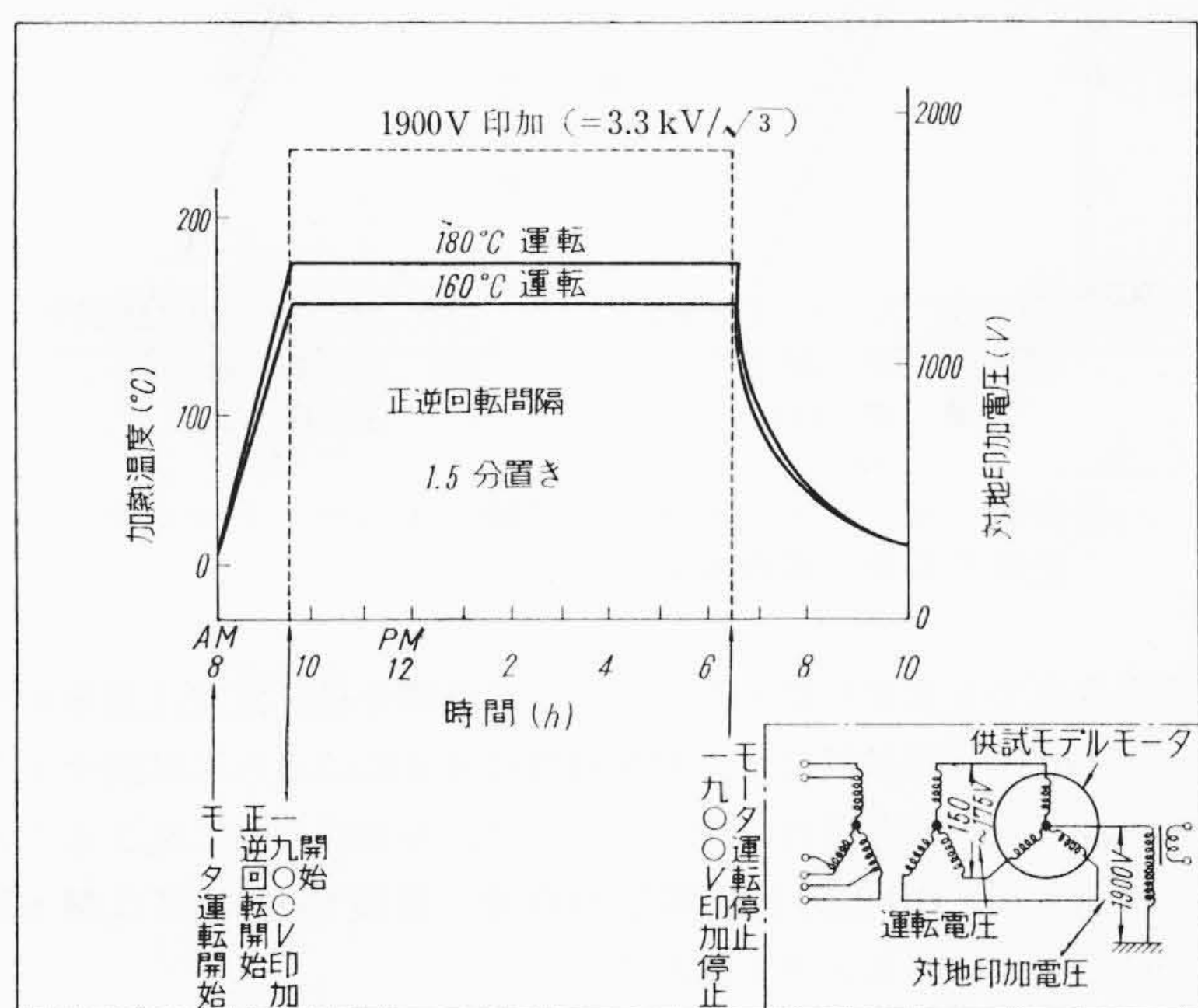
加熱温度 (℃)	加熱日数 1 サイクル	素線	サイクル数																										
			1	2	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	34	35	36				
140	49 日	DGC	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10*	5/5																				
		DTC	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10*	5/5																				
160	14 日	DGC	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10*	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5							
		DTC	10/10	10/10	10/10	9/10 (加)	9/10	9/10	9/10	9/10	9/10	9/10	9/10*	5/5	5/5	4/5 (吸)	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5							
180	4 日	DGC	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10*	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	(加) 4/5						
		DTC	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9*	4/5 (吸)	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5					
200	4 日	DGC	10/10	10/10	10/10*	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	(吸) 4/5															
		DTC	9/9	9/9	9/9*	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5															

- (1) 破壊はすべて対地間で起こった。
(2) 表中の数字の分母は全試料数を、分子は残留試料数を表わす。
(3) *印はそれぞれのサイクル終了後、全試料の半数につき破壊試験を行なったことを示す。
(4) 表中の(吸)、(加)はそれぞれ吸湿後および加熱後の電圧チェックで破壊したことを示す。
(5) 3～9 および 28～33 サイクルにおいては破壊したコイルはなかった。

第6表 モデルモータコイル試験中各サイクル終了後の半数試料の破壊試験結果

加熱温度 (℃)	供試コイルの種別	終了した サイクル数	加熱累積 時間 (h)	BDV 測定箇所	*BDV 低下率 (%)	標準偏差 (%)
180	DGCマイラマイカ	23	2,210	対 地 間	56.0	5.6
	線 間			21.9	3.5	
	DTCマイラマイカ			対 地 間	52.6	3.1
	線 間			18.3	6.6	
160	DGCマイラマイカ	18	6,050	対 地 間	55.6	4.2
	線 間			26.2	11.0	
	DTCマイラマイカ			対 地 間	45.7	3.2
	線 間			19.2	7.5	
140	DGCマイラマイカ	13	15,288	対 地 間	37.6	5.1
	線 間			11.9	2.7	
	DTCマイラマイカ			対 地 間	49.6	2.6
	線 間			18.4	5.2	

$$* \text{BDV 低下率}(\%) = \frac{\text{初期のBDV値} - \text{劣化後のBDV値}}{\text{初期のBDV値}} \times 100$$

第4図 モデルモータ試験の手順一覧表
(1 日の順序を示す)

を遮断できるようにした。加熱運転時間は所定温度で加熱した時間の累計をもってした。また、供試モデルモータの絶縁劣化状態を追跡するため定期的に絶縁抵抗、誘電正接、コロナ特性を測定した。

3. 試験結果

3.1 モデルモータコイル試験結果

本試験は、本絶縁の寿命が予想以上に長くなることが試験の途中で推測されたので、10 サイクルを過ぎた適当なサイクルにおいて全試料の半数について破壊試験を行ない、その結果から寿命—温度関係直線を求め、寿命を推定することにした。以下(1)耐電圧形式による寿命試験結果と(2)破壊試験による寿命推定結果に分けて記述する。

3.1.1 耐電圧形式による寿命試験結果

第2.2.1項の試験方法で行なった試験結果を第5表に示す。モータレット試験は10 サイクル～15 サイクル位までに試験を完了し、その絶縁階級での使用可否を判定するので10 サイクルまでに全然破壊がないということは、あらかじめ想定したB種としての耐熱性が十分であると判定される(130°Cの寿命が20,000時間以上)。

10 サイクルを過ぎても大部分が破壊せず、さらに試験が長引くことが予想されたので、後に述べるように適当なサイクル数において、残留全試料の半数について破壊試験を行ない、劣化程度を検討した。その結果は第6表のようであり、線間のBDV低下率が

約18～26%でわずかであり、チェック電圧(線間のチェック電圧180VはBDV低下率で表わすと86～87%)で破壊するにはさらに多くの試験を繰り返さなければならなかったことがわかった。対地間ではBDV低下率が約20 サイクル後に46～56%でチェック電圧(対地間のチェック電圧4.5kVはBDV低下率で表わすと61～65%)に破壊電圧が近づいており、さらに試験を繰り返せば、遠からず破壊に至り試験が完了すると思われたので残り半数(40個)の試料についてさらに試験を続行した。しかし、結果は予想に反し200°C—19 サイクル、180°C—34 サイクル、160°C—26 サイクル、140°C—14 サイクルまでに対地間で4個の破壊が起こっただけであった。残留試料についてはさらに多くの時間を経なければ全試料の破壊は期待できそうにない。また、後述するように一応破壊試験結果から寿命—温度関係直線が求められたことから本試験をさらに続行する意味があまりなくなったので試験を中止した。

以上の結果から、本絶縁(DGCあるいはDTC巻線にマイラマイカ絶縁したもの)はB種としての性能をもっていることがわかった。なお、F種として検討した場合、200°CはF種としての試験(200°Cは1サイクルの加熱日数4日)を行なって10 サイクルまで破壊がなく、さらに18 サイクルまで異常がないことからF種としても合格する。180°Cと160°Cについては破壊のなかったサイクル数をF種のサイクル数に換算した場合と試験の最終サイクルまでをF種に換算した場合および破壊率を示すと第7表のようになる。一般に、B種想定のもとに試験したサイクル数を同一温度でF種のサイクル数に換算した場合、1 サイクルごとの振動、吸湿の回数は最初からF種想定のもとに試験した場合の1サイク

第 7 表 モデルモータコイル試験で破壊なく終了したサイクル数および F 種として終了したサイクル数と破壊率

加熱温度 (°C)	素 線	B 種として検討 し破壊なく終了 したサイクル数	F 種として検討 し破壊なく終了 したサイクル数	F 種として終了したサイクル数 および破壊率	
				サイクル数	破 壊 率
140	DGC	14	—	—	—
	DTC	14	—	—	—
160	DGC	26	7.4*	7.4*	0 %
	DTC	10	2.9*	7.4*	0 ~ 5.1 サイクルまで 10 % 5.1 ~ 7.4 サイクルまで 20 %
180	DGC	33	9.4*	9.7*	0 ~ 9.7 サイクルまで 20 %
	DTC	23	6.6*	9.7*	0 ~ 9.7 サイクルまで 20 %
200	DGC	—	18	19	0 ~ 19 サイクルまで 20 %
	DTC	—	19	19	0 %

* B 種として試験したサイクル数を F 種に換算した値を示す。

ルごとの回数に比較して多くなるので一層きびしい条件で試験したことになるから、この場合の寿命評価は安全側にある。DGC 巻線にマイラマイカ絶縁したものは F 種として 180°C は 9.4 サイクルを、160°C は 7.4 サイクルを異常なく経過したことになり 160°C の 7.4 サイクルも平均寿命はさらに延びることが推測され、10 サイクルを越える公算が大きい。したがってこの絶縁は F 種にも十分合格すると考えられる。一方、DTC 巻線にマイラマイカ絶縁したものは F 種として 180°C が 6.9 サイクル目に 1 個、160°C は 3.1 サイクル目と 6 サイクル目に各 1 個ずつ破壊しているが、平均寿命は F 種にはいる公算が大きい。

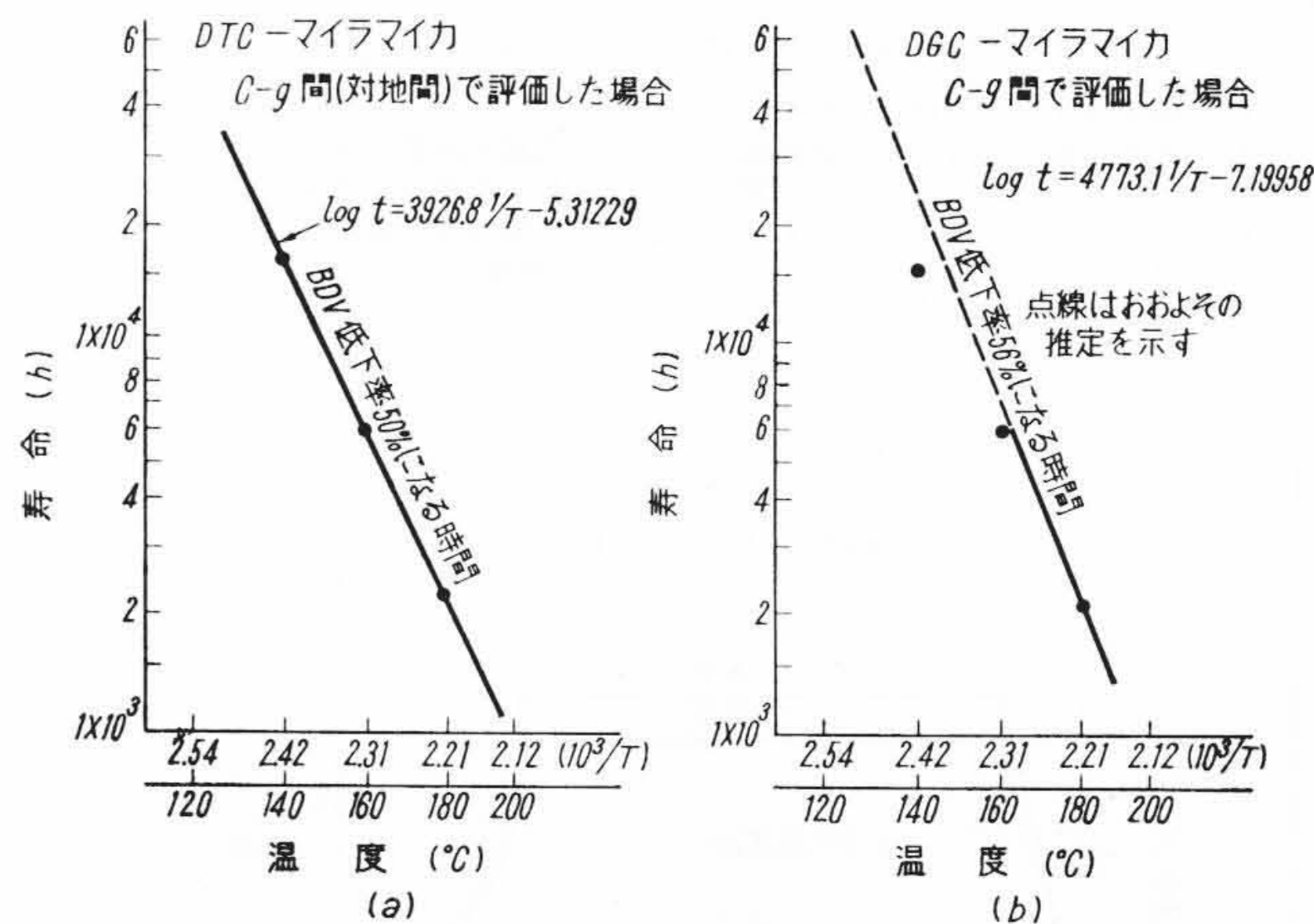
3.1.2 破壊試験による寿命推定結果

前項において説明したように 10 サイクルを過ぎた適当なサイクル数において、180°C、160°C のおのおの全試料の半数(一条件につき 4 ~ 5 個) について破壊試験を行なった。測定方法は加熱後常温において 500 V 置き 1 分間階段昇圧で行なった。本試験では対地絶縁を重点的に検討するため、まず対地間を測定し、ついで線間を測った。したがって、第 6 表でも明らかなように後に測定した線間の測定値のばらつきが大きい。各温度に対する BDV 低下率の間に有意差があるか否かを統計的に検定した結果、DGC 巻線にマイラマイカ絶縁したものの線間を除いては 180°C と 160°C のそれぞれの BDV 低下率について危険率 5 % で有意差が認められず各母集団の平均値は同等になることが統計的に推定された。

ここで、絶縁の寿命は Dakin 氏の提案した化学反応論に基づく寿命推定法⁽⁵⁾が一般に良く知られており引張強さとか絶縁破壊電圧の一定低下率(%) を基準に採れば $\log t$ (絶縁寿命の対数) と $1/T$ (絶対温度の逆数) の関係が一次関数となる。したがって、本試験における 180°C—2,208 時間、160°C—3,124 時間で破壊電圧を測定した結果、BDV 低下率が同等であるということより $\log t - 1/T$ グラフ上にプロットした 180°C と 160°C における処理時間の 2 点を直線で結んで考えてさしつかえない。この直線をさらに低温側に外そうして 140°C の寿命を求め BDV 低下率が 180°C、160°C の場合と同等になるに要するおよそのサイクル数が推定できた。推定された 140°C のサイクル数である 13 サイクル終了後、140°C 処理試料について前述の 160°C および 180°C 処理試料と同一方法で破壊試験を行なった結果は第 6 表のようになった。これから明かなように、DTC 巻線にマイラマイカ絶縁したコイルはあらかじめ推定したように 140°C—15,288 時間後の対地間 BDV 低下率が 180°C、160°C のそれと同等であり(危険率 5 % で有意差がない)、180°C、160°C および 140°C にそれぞれ対応する寿命時間を結んで得られる直線是对地間 BDV 低下率 50 % の寿命—温度関係を示すと解釈される。これを第 5 図(a) に示す。一方、DGC 巻線にマイラマイカ絶縁したコイルの対地間の場合には BDV 低下率が 180°C、160°C の低下率に比べていくらか低く、危

第 8 表 モデルモータ試験の加熱運転時間とその比較

加熱温度 (°C)	供試モデルモータ仕様(3φ, 1 HP)			常規対地電圧 (3,300/√3 V) 印加下の加熱運転 時間数, () 内は 運転停止のヒート サイクル数	B 種モデル モータコイル 試験に相当するサイ クル数	F 種モデル モータコイル 試験に相当するサイ クル数
	素 線	アース絶縁	台数			
180	二重ガラス巻線	マイカペーパー	2	7,323 時間(861)	76	22
	二重テリレンガ ラス巻線	マイラマイカ	2			
160	二重ガラス巻線	マイカペーパー	2	7,231 時間(850)	22	6
	二重テリレンガ ラス巻線	マイラマイカ	2			



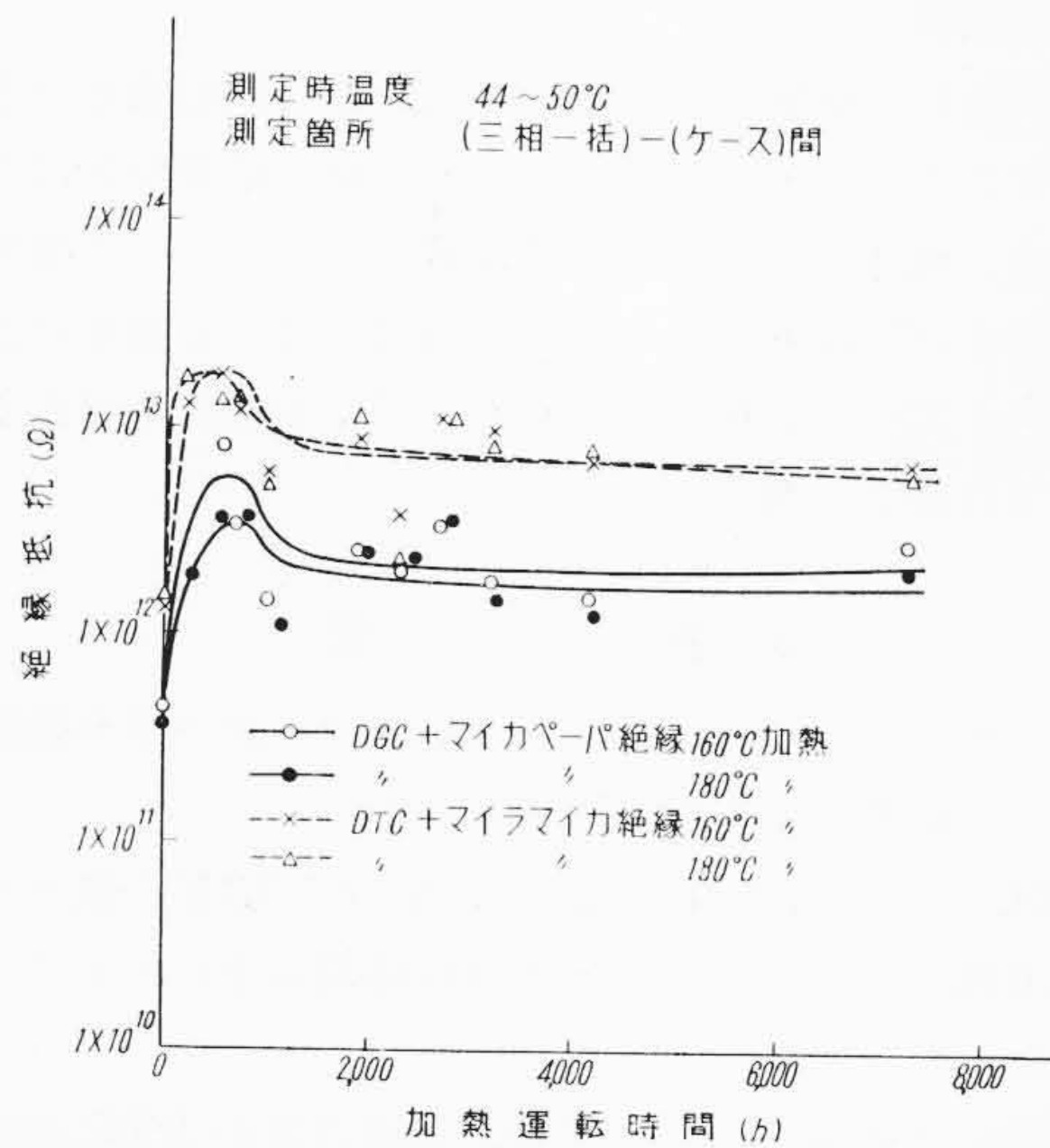
第 5 図 モデルモータコイル試験によるマイラマイカ絶縁の寿命—温度直線

険率 5 % で有意差が認められたので 3 点間を結ぶ直線は意味がない。140°C 処理試料の低下率を同等にするにはさらに試験サイクルを繰り返さなければならないので、寿命はさらに延びることが推測され、BDV 低下率 56 % の寿命—温度関係直線は第 5 図(b) のようになると考えられる。

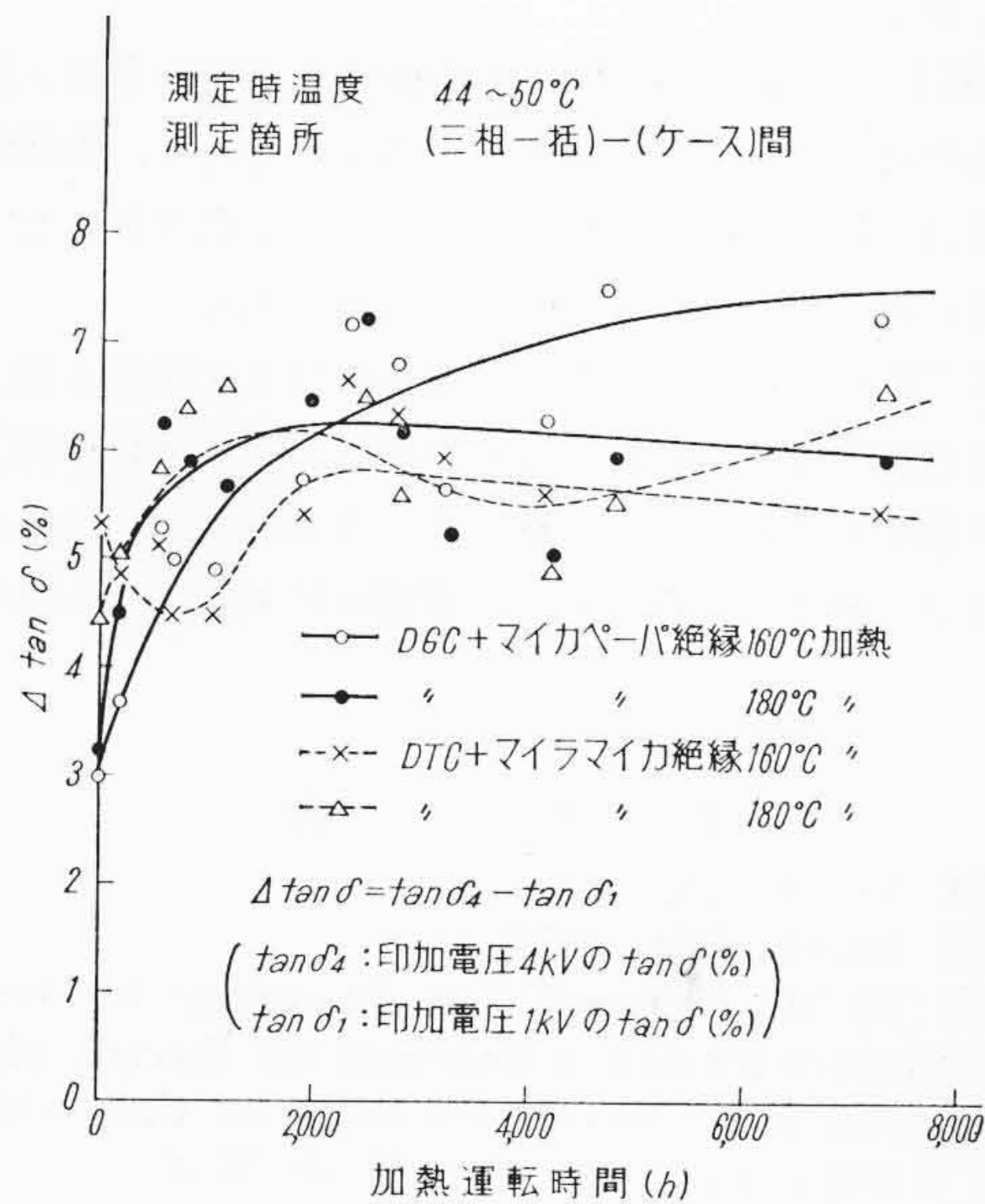
以上のようにして求めた寿命—温度直線を比較すると DGC 巻線にマイラマイカを巻いた絶縁の方が直線のこう配がわずかに大きく、低温側における寿命が長い。また、これらの寿命—温度直線から対地間の BDV 低下率が約 50 % になるのに 20,000 時間を要する温度は DGC 巻線にマイラマイカを巻いた絶縁の場合 140°C であり、DTC 巻線にマイラマイカを巻いた絶縁の場合は 135°C となるから明らかに本絶縁は DGC 巻線品と DTC 巻線品の差別なく B 種として十分使用可能となるが F 種には達しない。しかし、この場合は寿命判定基準としての BDV 低下率をそれぞれ約 56 %, 50 % に採ったためであって、これをモデルモータコイル試験における対地間のチェック電圧 4.5 kV に下るまでとしてそれぞれ低下率 64.8 %, 60.8 % と大きく採った場合には前項の試験結果のように B 種にはもちろん合格し、F 種にも合格すると考えられる。

3.2 モデルモータ試験結果

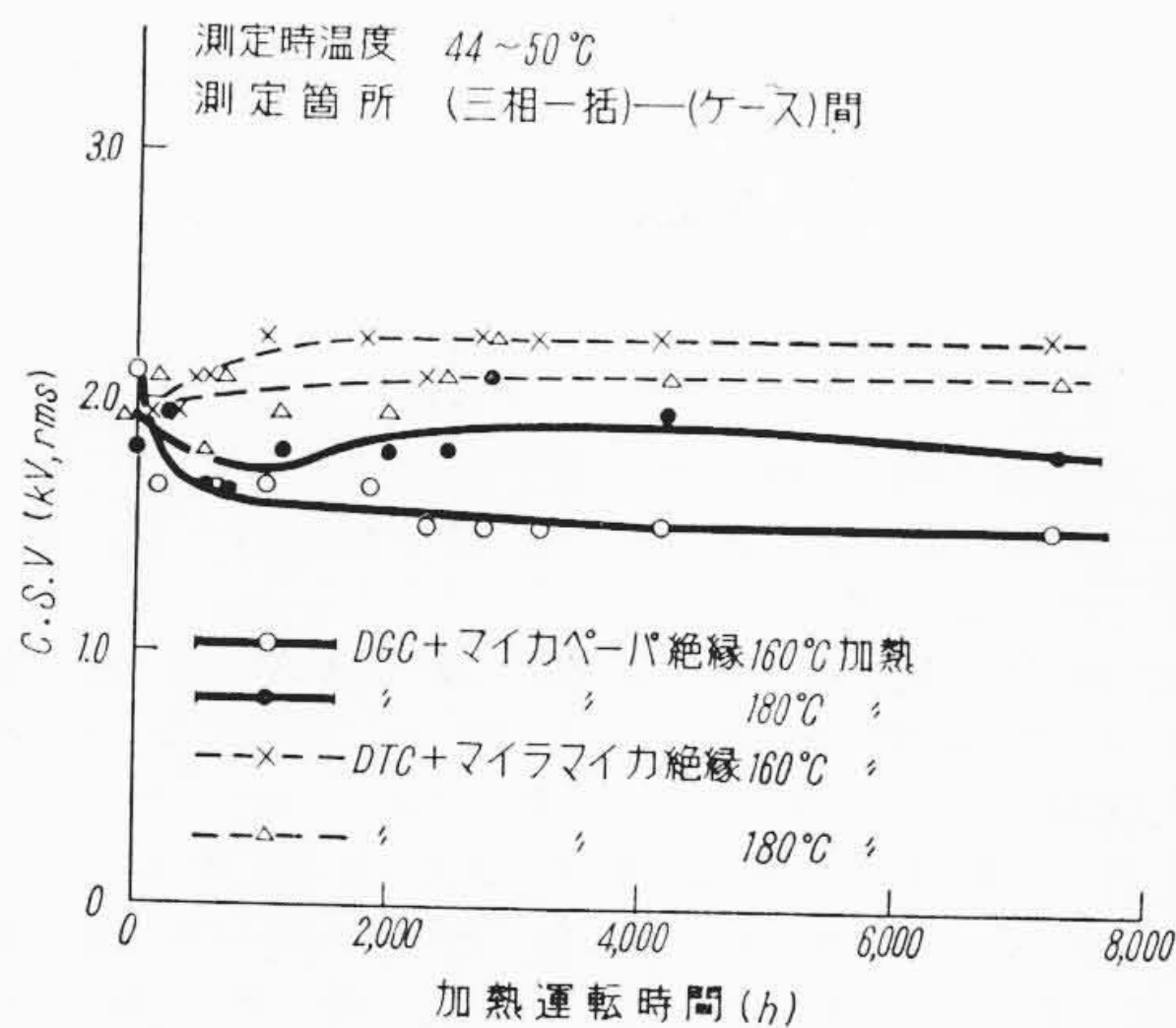
第 2.2.2 項の試験方法により行なったモデルモータ試験は電圧による加速劣化は行なわず、実用時の常規対地電圧(実際の印加電圧は $3,300/\sqrt{3}$ V + 運転電圧 150 ~ 175/√3 V) 印加による影響が現われるようにし、温度の影響を加速して劣化した。また、正逆回転により突入電流による機械的応力の影響が加わるようにし、湿気の影響は停止中に普通の室内条件のもとで加えた。試験開始後 3 年余になるが現在までの加熱運転時間は第 8 表のようで、まだ一台の絶縁破壊も出ていない。加熱運転時間はモデルモータコイル試験の加熱時間との比較が大体可能であるからモデルモータコイル試験の B 種および F 種としてのサイクル数に換算してみると、B 種としては 160°C、180°C とともに 10 サイクルは十分異常なく経過しておりマイ



第6図 モデルモータ試験における加熱運転時間と絶縁抵抗の関係

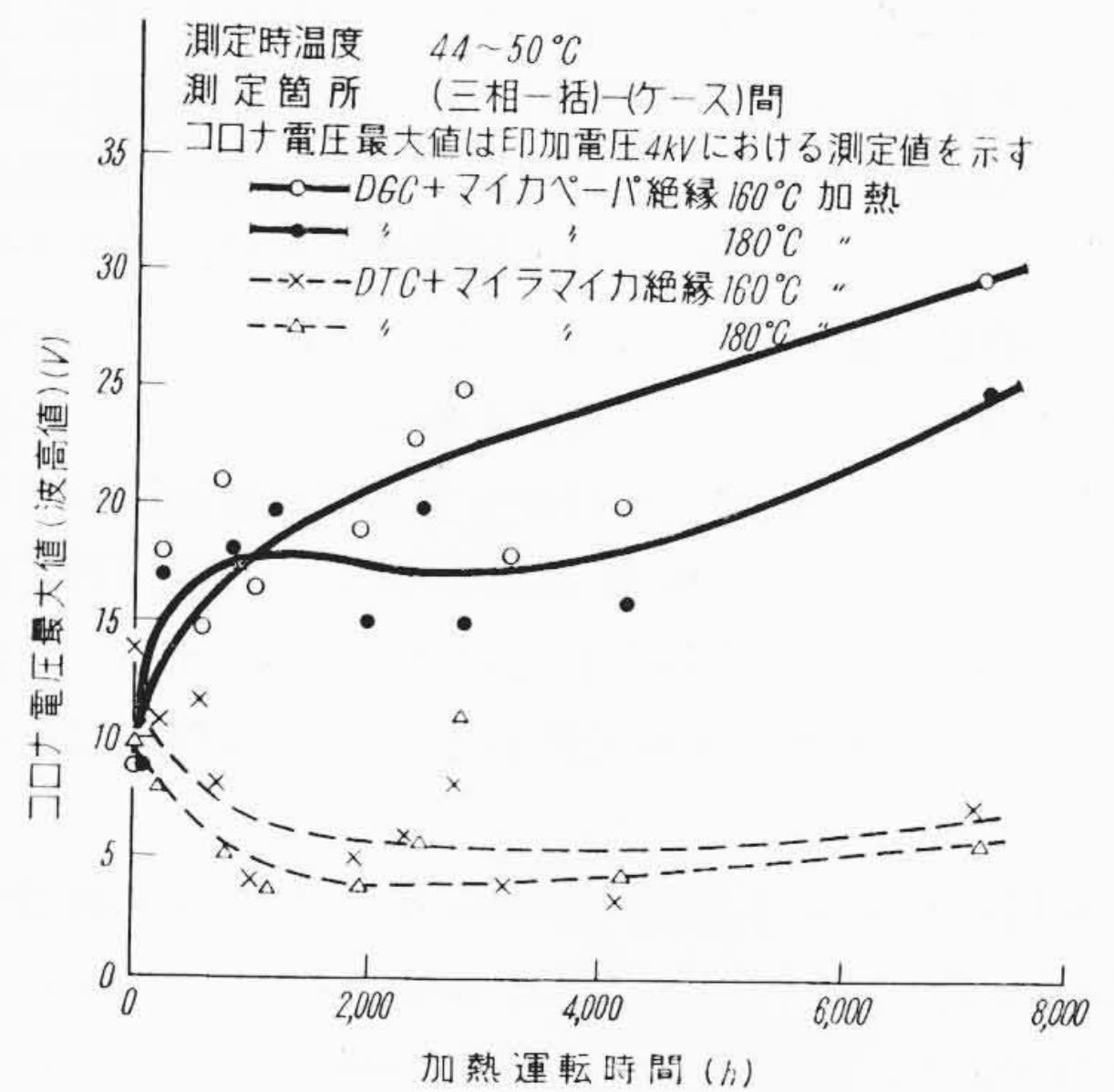


第7図 モデルモータ試験における加熱運転時間と $\Delta \tan \delta$ の関係

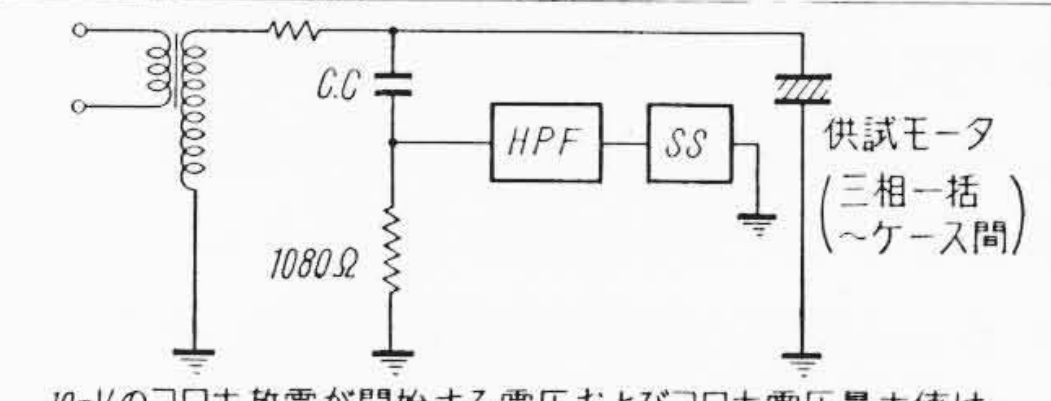


第8図 モデルモータ試験における加熱運転時間と CSV (コロナ開始電圧) との関係

カペーパー絶縁およびマイラマイカ絶縁ともにB種としての耐熱性をもっている。一方、F種として検討した場合には160°Cのみ10サイクルに満たないが180°Cの経過から判断して10サイクル分は異常なく加熱運転できる公算が大きく、F種に近い耐熱性を示す可能性



第9図 モデルモータ試験における加熱運転時間とコロナ電圧最大値との関係

測定項目	測定回路および方法
絶縁抵抗	振動容量形超高抵抗計による。印加電圧 DC 100V
誘電正接	高圧シェーリングブリッジによる。電源周波数 60 c/s
コロナ開始電圧およびコロナ電圧最大値	 10mVのコロナ放電が開始する電圧およびコロナ電圧最大値は $\delta\delta$ (シンクロスコープ) により測定した。

第10図 モデルモータ試験における絶縁特性測定回路および方法

がある。特に第6～9図に示すようにマイラマイカ絶縁の方がマイカペーパー絶縁に比較して $\tan \delta$ 、コロナ開始電圧などの特性がすぐれているから、この可能性が強い。モデルモータコイル試験では運転電圧を加えていないのでこの影響は現われないが運転電圧下で、劣化後コロナ放電が生じる場合には電圧を印加した寿命試験法にする必要性をこのような絶縁特性の経過が示している。なお、各絶縁特性の測定回路および方法を第10図に示す。

4. 試験結果に対する考察

マイラマイカ絶縁について以上のような結果が得られたが、3.3 kV 誘導電動機に対してモデルモータコイル試験によっては対地間に4.5 kVのチェック電圧をサイクルごとに加え、これに耐えなくなるまでの実効加速加熱時間をもって寿命時間とすればB種には十分耐え、F種にも合格すると考えられる結果である。製作当初の破壊電圧は絶縁仕様によって当然変わり、機器の小形化を図る場合経済性を考慮してこれを下げて十分な寿命を保証しうるかどうかが加速寿命試験によって検討する場合などを考えると、実用時の異常電圧、その加わる時間などを考慮してある電圧をチェック電圧として採用する方が合理的と考える。ここにAIEEに準拠して採用した対地間4.5 kVのチェック電圧は定格電圧に対し36%増し、三相の対地電圧に対しては136%増しの電圧であり低い値ではない。したがって得られた結果は信頼しうるものである。

しかし、AIEEのモータレット試験は10サイクルまでに絶縁破壊することを期待して行なうものであり、従来の実用寿命の十分わかっている絶縁と被試験絶縁との比較を建て前としてその絶縁の寿命を評価しようとするものであるから、不合理に実用条件から離れない限りできるだけ短時間に試験が終わることが望ましい。AIEEではこの点を考慮して10サイクルで終わるよう立案されたものであ

る。この方法は低電圧の拾い込みコイルの場合のように、エナメル線を使い、A、E 種などの材料で絶縁したコイルの場合などには 10 サイクル付近で試験が終了し、わが国においても諸種の絶縁改良に役立っている。しかし、本報における結果のように、ガラス巻線を使い、マイカが絶縁に使われているようなコイルに対しては 10 サイクルで試験が終わらない。十分な寿命があるためこのような結果になるといえるが、従来の絶縁との比較をするには長期間を要して実用的でない。この対策として吸湿条件を 40°C、100% RH ときびしくし、またチェック電圧を 7.5 kV に上げて再検討したが、破壊個数は多少増してくるが 10 サイクルで終わるような条件とはならなかった。

また、線間のチェック電圧も AIEE 案では 3.3 kV 級型巻コイルの場合 60 V になっているが、これを本報のように 180 V に上げててもまだ不十分であり、無機質材料で線間の間隔が保たれているようなものでは破壊が起こらない。この点は普通の状態ですべて異常なものでは十分な寿命があると結論して良く、実用時の寿命とも良く一致するものである。なおこのような巻線の場合、問題が生じるのは過電流による熱膨脹、収縮に基づく機械的損傷が原因であるものが多いのできびしい使用条件が避けられない特殊な場合には、その条件に見合った試験条件を加味する必要がある。しかし、普通の使用状態ではそのような条件は必要としない。

この試験においては汚損の条件は加味されていないが、吸湿条件をきびしくしてある程度補っているものと考えられる。腐食性ガスのあるふん囲気内で使用されるもの、あるいは露滴が絶縁内に浸入する機会のあるものなどに対しては絶縁材料、絶縁処理方法などが異なり、これらに耐える構造とするので当然これらの寿命試験は異なってくる。しかし、一般の使用条件に対する型巻巻線の寿命評価試験として、ここに報告したような方法は有意義なもの認められる。

モデルモータ試験ではまだ一台も寿命に達していないので、本絶縁の試験による寿命の関連性はまだ明確でない。文献では型巻巻線を対象としたモータレット試験報告はほとんど見当たらないが、拾い込み巻線を対象としたものについてはモデルモータコイル試験とモデルモータ試験の試験結果の間に合理的な関連性を見出している例⁽⁵⁾⁽⁶⁾が挙げられているから近い将来、本試験についてもある関連性が求められればモデルモータコイル試験による寿命評価は有益

な経済的等価試験となろう。

本試験を実施した経験から、試験時間をさらに短縮させることとモデルモータコイル試験とモデルモータ試験の結果を近似させ、これと実用寿命と関連づける意味で AIEE の提案している電圧チェック値、振動および吸湿条件についても筆者らはある程度の改良点を見出し、コロナ劣化の影響を加味するなどなお検討中であるが、これらについては後日に報告したい。

5. 結 言

以上、モータレット試験により 3.3 kV 級マイラマイカ絶縁の寿命評価を行なった結果、次の結論が得られた。

- (1) DGC あるいは DTC 巻線を使用した 3.3 kV 級マイラマイカ絶縁は B 種 (130°C の寿命が 20,000 時間以上) として十分使用可能である。
- (2) 巻線による寿命の差は DGC 巻線の方が DTC 巻線に比較していくらか長いと考えられるが大差なく、寿命判定基準であるチェック電圧を 4.5 kV に採れば F 種にも階級付けられる程度の耐熱性を有する。
- (3) AIEE の提案している寿命評価法は有用なものと認めるが各試験条件はかならずしも満足しうるものでなく、無機質の多い絶縁の場合、特に線間などのチェック電圧が低すぎるなど、結果を短期間に得るためにはなお検討が必要である。

終わりにご指導をいただいた日立製作所日立工場高木副工場長、下館工場河合博士ほか関係諸氏ならびに日立研究所橋本部長に対し深く感謝の意を表する。また試験に際し多大な便宜を与えられた日立製作所日立工場渡辺課長、および磯部氏に対し厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) AIEE No. 1 C (Jan. 1954)
- (2) AIEE No. 510 (Nov. 1956)
- (3) AIEE No. 511 Proposed Test Procedure for Evaluation of System of Insulation Materials for Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Coils (Oct. 1956)
- (4) たとえば電気学会技報：第 44 号 (昭 36-2)
- (5) 電気学会技報：第 19 号 (昭 32-9)
- (6) H. P. Boettcher: AIEE Power App. & Syst. 1459 (Feb. 1959)

1962	目 次
・巻頭随筆.....	森田 た ま
・オートラインで販売合理化へ	
・建設荷役に活躍するパワークレーン	
・利用範囲の広い日立電気ジスクグラインダ	
・テレビの谷間の救い主	
・データ処理用電子計算機	
・ガンを制圧する放射線	
・箱入りの屋内配線バスダクト方式	
・暮らしの中のプラスチック	
・電線百話「コロナ雑音とのたたかい」	

No. 4
・新しい照明「群馬音楽センター」
・明日への道標「経済負荷配分装置」
・日立だより
・大井川変電所に 20 万 kVA 変圧器
・マニラ国際空港に大形エスカレータ
・FO34 トラッククレーン
・東洋工業名古屋ふ頭に 3 t ふ頭クレーン
・日立の蛍光灯技術を台湾へ輸出
・「なぜ日立乾電池は寿命が長い」

発行所	日立評論社	東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地
振替口座		東京 71824 番
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
振替口座		東京 20018 番