回転機マイカ・レジン絶縁コイルの絶縁劣化診断方法の一考察

正員 門谷 建蔵 (日立)

1. ま え が き

電力機器の大容量化高機能化に伴い、事故が発生した場合の社会的影響と経済的損失の規模がますます大きくなることから、予防保全技術が重視されつつある。回転機絶縁においても、定期点検時の非破壊測定を通じて巻線の絶縁劣化度をはあくする、絶縁劣化診断技術の重要性が認識されている。

アスファルトコンパウンド絶縁の発電機巻線については、有用な絶縁劣化判定基準が定められている⁽¹⁾。しかし、現在運転中の発電機および電動機は、含浸レジンに合成樹脂)例えば、不飽和ポリエステル、エポキシ)を用いた、いわゆるレジン絶縁巻線になっている。レジン絶縁巻線についての絶縁劣化判定基準はまだ定まっておらず、一般的にはさきの判定基準を流用している⁽²⁾。コンパウンド絶縁からレジン絶縁に代わり、レジン絶縁の優れた耐熱性、耐機械力および絶縁耐力を生かして、より過酷な設計をするようになったため、絶縁層の劣化の仕方が異なっている。例えば、熱劣化の影響は軽減され、相対的に機械的応力による劣化の影響が大きくなっている。このように劣化形態が異なると、当然劣化判定の基準も異なるべきである。

さきの判定基準における試験項目はそのまま、合否判定の基準値だけを変えてやればよいのか。コンパウンド絶縁の劣化判定には有用であった交流電流試験や直流試験が、レジン絶縁には適用できないとの報告が多く見られ⁽³⁾、レジン絶縁の劣化判定は非常に困難視されてきている。部分放電特性の詳細な解析⁽⁴⁾、あるいは交流電流特性を非常な高感度でとらえる「自動

絶縁特性解析装置 (AIA)」の開発がなされ⁽⁶⁾、診断のための情報は多く得られるようになったが、それらの情報から巻線の残存絶縁破壊電圧を推定する手法については、まだデータの蓄積段階にある。

筆者らも、コイルの平部に独立した分割電極を設けること、あるいはかなりの高電圧を印加して AIA で測定することによって、残存絶縁破壊電圧と関連性のある非破壊測定値が得られることを見いだしたが⁽⁶⁾、いずれの方法も運転中の回転機巻線に適用するのは困難と思われる。次いでエポキシ絶縁のモデルコイルに静的曲げひずみ、課電、熱劣化、吸湿の強制劣化を与えて実験し、残存絶縁破壊電圧を非破壊測定値 $\tan \delta_0$ (低電圧、普通 2kV で測定した絶縁層の誘電正接) と $\Delta \tan \delta + \Delta C/C_0$ (第 1 表参照) から算出するための実験式を出した⁽⁷⁾。

本論文は運転中の回転機レジン絶縁巻線の残存絶縁耐力を推定する手法について、経年運転劣化を受けた巻線コイルの検討結果に、強制劣化を与えたモデルコイルの検討結果を組合せて解析することにより、基礎的検討を行なったものである。

2. 絶縁診断の手法

〈2・1〉 絶縁層の劣化形態 回転機高圧巻線の絶縁層は、主としてマイカとレジンからなる。運転中の各種複合ストレスによって絶縁層に発生する劣化の形態には、第 1 図にモデル的に示した以下のものが考えられる。①レジンの変質 (熱分解)、②レジンの炭化、③レジンの吸湿、④レジンの分解によって生じた空孔、⑤マイカ・レジン界面の微小はくり、⑥大面積のはくり (層はがれ)、⑦絶縁基材を貫通するクラックおよび⑧異物 (導電性粉など) である。ここで、⑧は⑥や⑦を生じる原因となる可能性がある潜在的欠陥であるが、以下では考察しない。

A Study on the Insulation Diagnostic Methods for Mica-Resin Insulated Coils of Rotating Machines. By Kenzo Kadotani, Member (Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.).
門谷建蔵: 正員, (株)日立製作所日立研究所

第1図 マイカ・レジン絶縁層のモデル

Fig. 1. A model of mica-resin insulation.

①～③は固体絶縁物自体の変化であり、劣化によって可とう性が低下しあるいはマイカとの接着性が弱まり、他の④～⑦の劣化を起りやすくする。④および⑤はレジン中の空洞およびマイカ・レジン界面の微小はくりであり、課電によって部分放電を生じて周囲の絶縁物を劣化させ、また機械的応力により、⑥、⑦へ移行する恐れがある。①～⑤の劣化は、それをあらかじめ考慮して絶縁厚さを決めているので、「定常劣化」と称してもよい。⑥、⑦の劣化も、現在のところでは考慮してそれなりに絶縁厚さを十分にとっているが、それらの劣化が全く起こらなければ更に薄くできるという意味では、一応「異常劣化」と称してもよい。ここでは①～⑤が絶縁層のいたるところに生じる一様劣化であるのに対して、局所劣化と称してよいと考える。局所劣化は非常に絶縁耐力の弱い通路を長い距離に及び生じさせることになり、絶縁層の絶縁耐力を著しく低下させる。

〈2・2〉 非破壊測定値の種類 絶縁層の劣化形態は上述のように2種に分けられる。一方で絶縁診断のための非破壊試験における測定値は多数ある。第1表はそれらの測定値の符号と一般的な定義、および上述の2種の劣化を診断する場合の相関性をまとめた。なお、一様劣化は先述の①～③および④、⑤の2群に分けた。第1表から次のことが言える。

(i) 絶縁物の劣化(①～③)は、低電圧の交流で測定した値($\tan \delta_0$, C_0)および直流で測定した値(R , PI)と相関がある。

(ii) 一様劣化に属するポイドや微小なはくりは、交流の低電圧を加えたときと高電圧を加えたときで、部分放電が生じることによって変化する値($\Delta \tan \delta$, $\Delta C/C_0$, V_i , P_{i1} , P_{i2} , ΔI , m , γ , Q_m , ΣQN)と相関がある。

(iii) 局所劣化は、その箇所の部分放電発生電圧をAIAによる測定値 m や $\gamma^{(5)}$ から精度良くとらえるか、最大放電電荷 Q_m を測定すれば、その大きさおよ

第1表 絶縁診断のための測定値

Table 1. Measures for insulation diagnosis.

一般的 な符号	一般的 な定義	診断内容および相関性		
		吸湿、炭 化、変質	はくり、 ポイド	局所異 常劣化
$\tan \delta_0$	ベース (普通 2kV) の誘電正接	○		
C_0	ベースの静電容量	○		
R	絶縁抵抗	○		
PI	成極指数	○		
$\Delta \tan \delta$	定格電圧 (E) の $\tan \delta_E - \tan \delta_0$		○	
$\Delta C/C_0$	静電容量増加率, $(C_E - C_0)/C_0$		○	
V_i	$1 \times 10^{-6}C$ の部分放電発生電圧		△	△
P_{i1}, P_{i2}	交流電流試験の電流急増点		○	
ΔI	電流増加率, $\approx \Delta C/C_0$		○	
m, γ	AIA による測定値 ⁽⁵⁾		○	△～○
Q_m	常規電圧 ($E/\sqrt{3}$) の最大放電電荷		△	○
ΣQN	累積放電量		○	△

○: かなり良い, △: ある, 空白はほとんどない。

び形状に関する情報が得られるであろう。

上記の(i)～(iii)項にそれぞれ区分けされた測定値の間では、それぞれ良い相関性のあることが、実験と理論の両面から確かめられている⁽³⁾。

〈2・3〉 残存絶縁破壊電圧の推定手法 〈2・1〉節の3種の劣化形態を X (①～③), Y (④, ⑤), Z (⑥, ⑦) とすると、劣化したコイルの残存絶縁破壊電圧 V_R (未劣化コイルを100%とする%表示をする)を、それぞれの劣化形態がそれぞれ独立に作用すると仮定して、最も単純な式で表わすと次式のようにになる。

$$V_R = 100 - F_1(X) - F_2(Y) - F_3(Z) \dots (1)$$

ここで、例えば $F_1(X)$ は劣化形態 X による破壊電圧の低下を表わす関数である。

劣化形態 X, Y, Z とそれぞれ相関のある非破壊測定値 x, y, z を用いると、次式のようにして V_R を x, y, z から算出できるようになる。

$$V_R = 100 - f_1(x) - f_2(y) - f_3(z) \dots (2)$$

x, y, z として、第1表から $\tan \delta_0$, ΔI ($\Delta \tan \delta + \Delta C/C_0$), Q_m を選び、最も簡単な(3)式で表わすことの可能性を考察する。ここで「 I 」は初期未劣化コイルの値を表わし、 k_1, k_2, k_3 は絶縁組織によって固有の定数である。

$$V_R = 100 - k_1(\tan \delta_0 - \tan \delta_0') - k_2(\Delta I - \Delta I') - k_3 \log(Q_m/Q_m') \dots (3)$$

通常の乾燥しているコイルでは、 $\tan \delta_0$ の変化は極めてわずかであり、また定数 k_1 は k_2 に比べて小さく(一例では $k_2=6.9$ に対して $k_1=0.9^{(7)}$), k_3 は

k_2 より更に大きいと予想されるので、本論文では(4)式を仮定し、運転による経年劣化を受けたコイル群と強制劣化を与えたコイル群の実験結果を解析し、式の妥当性を考察する。

$$V_R = 100 - k_2(\Delta - \Delta') - k_3 \log(Q_m/Q_m') \quad \dots\dots\dots (4)$$

3. 実験

〈3・1〉 供試コイル 次の3種のコイル群を供試した。

(A): 運転歴 10 年の 10MVA, 6.6kV 水車発電機のコイル 20 本。

(B), (B'): 運転歴16年の 950kW, 6.6kV 誘導電動機のコイル50本。初め(B)群として30本供試し、次に追加試料(B')群として 20 本供試した。

(C): 静的曲げひずみ負荷, 課電, 熱の強制劣化を与えた 11kV 級モデルバーコイル10本。

ここで、(A)および(B)のコイル群はフレックマイカ・不飽和ポリエステル樹脂絶縁であり、(C)のコイル群はフレックマイカ・エポキシ樹脂絶縁である。

〈3・2〉 試験方法 各コイル群とも、主電極(低抵抗塗料または導電性塗料を塗布)の両側にガード電極を設け、これを接地し、端部の沿面放電を除いて非破壊特性を測定した。測定はまずシェーリングブリッジによって 2kV における $\tan \delta_0$, C_0 と定格電圧における $\tan \delta_E$, C_E を測定し、 Δ を $\Delta = \Delta \tan \delta + \Delta C/C_0 = (\tan \delta_E - \tan \delta_0) + (C_E - C_0)/C_0$ によって算出した。次に常規電圧(定格電圧 $\div \sqrt{3}$)を印加し、1 サイクルあたり 1 個以上安定してでる部分放電電荷の最大値を、広帯域法によって測定し Q_m とした。(A)群と

(B)群については Δ だけ測定し、 Q_m は測定しなかった。非破壊特性測定後に、全コイルにシリコンカーバイド塗料の電界緩和層を施し、室温の鉱油中に浸せきし、交流電圧を 1kV/s の昇圧速度で印加し、短時間絶縁破壊試験を実施した。

実際の巻線を診断する場合には、ガード電極を設けることは不可能であり、コイル端の沿面放電や隣接コイル端間の放電が入るため、測定された Q_m が絶縁層内部のものが見分けるのが難しい。また、電界緩和層の影響が $\tan \delta_0$ および Δ に入ってくる。しかし、ここではマイカ・レジン絶縁コイルの絶縁診断の可能性を考察するのが目的であるから、ガード電極を設けて、絶縁層内部の問題に限定しておく。

〈3・3〉 実験結果 実験結果は次章の考察に便利のように、非破壊測定値と残存絶縁破壊電圧 V_R (%) 表示) の関係にまとめた。これは 6.6kV コイルと

第 2 表 強制劣化コイルの特性

Table 2. Properties of compulsory degraded coils.

コイル番号	強制劣化条件			Δ at E (%)	Q_m at $E/\sqrt{3}$ ($\times 10^{-9}$ C)	V_R (%)	V_R 計算値 (%)
	静的曲げひずみ (%)	100h 課電電圧 (kV)	180°C 熱劣化				
1	—	—	—	0.8	1.5	100	100
2	0.10	—	—	1.1	1.6	92	97
3	0.20	—	—	3.1	2.5	80	82
4	—	35	—	2.4	1.8	84	92
5	—	30	—	1.8	2.0	89	91
6	0.10	30	—	3.2	2.8	84	80
7	0.10	25	—	2.9	2.5	86	83
8	0.20	25	—	7.0	3.0	66	68
9	—	—	30日	5.4	3.0	66	74
10	—	—	30日	5.9	3.2	61	66

第 2 図 残存絶縁破壊電圧 V_R と Δ の相関

Fig. 2. Correlation between residual breakdown voltage V_R and Δ (1).

第 3 図 強制劣化コイルの V_R と Δ の相関

Fig. 3. Correlation between V_R and Δ for compulsory degraded coils.

第4図 強制劣化コイルの V_R と Q_m の相関

Fig. 4. Correlation between V_R and Q_m for compulsory degraded coils.

11kV 級コイルを統一して解析するためである。

第2図は(A)群のすべてと(B)群のうちの30本について、 V_R と Δ の相関をまとめた。第2表は(C)群の強制劣化条件と Δ , Q_m , V_R をまとめた⁽⁷⁾。第2表を V_R と Δ の相関で示したのが第3図であり、 V_R と Q_m の相関でまとめたのが第4図である。群の残りの20本について測定した結果をまとめた。

4. 考 察

〈4.1〉 V_R と Δ の関係 第2図および第3図で V_R と Δ の関係をみると次のことが言える。

(i) 経年運転劣化を受けたコイル群の大部分は、 V_R と Δ の関係がほぼ次式に従うような劣化を受けている(第2図で次式を示す実線の下下に示した破線は ± 10 の範囲で次式に従うコイル群の範囲を示す)。

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 Δ は % 表示の値である。

(ii) 強制劣化を与えたコイル群は、同じくほぼ次式に従うような劣化を受けている。

$$V_R = 100 - 6(\Delta - 0.8) \dots \dots \dots (6)$$

(iii) 経年運転劣化を受けたコイル群のうち、約2割は(5)式よりかなりはずれ、(6)式に近くなる。これらのコイル(つまり誘導電動機コイル7本)は、 V_R が異常に低い、 Δ はその他のコイルとほとんど差がない。

(iv) 以上のことから、単に測定値 Δ から V_R を推定することは困難であることがわかる。

〈4.2〉 V_R と Q_m の関係 第4図から、強制劣化を与えたコイル群は V_R と Q_m の間に相関がみられ、ほぼ次式に従うことがわかる。

第5図 強制劣化コイルの V_R (実測値) と V_R 計算値の相関

Fig. 5. Correlation between V_R (measured) and calculated V_R for compulsory degraded coils.

$$V_R = 100 - 100 \log (Q_m / 1.5 \times 10^{-9}) \dots (7)$$

ここで、 Q_m はクーロン(C)表示の値である。

〈4.3〉 強制劣化コイル群の関係式 まず強制劣化コイル群をもとに、(4)式の定数を決めてみる。

一般に経年運転劣化を受けたコイルの大部分については(5)式が成立するので、もしこれらのほぼ(5)式に従うコイルの Q_m が、劣化前の Q_m' (1.5×10^{-9} C)とほとんど変化しないのであれば、(4)式は次式のように表わせる。

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) - k_3 \log (Q_m / 1.5 \times 10^{-9}) \dots \dots \dots (8)$$

この(8)式が強制劣化コイルにもマッチするように定数 k_3 を決める。それには強制劣化コイル群にマッチする V_R の式、(6)~(8)式を連立方程式として解くと $k_3 = 67$ になる。そこで、次式が強制劣化コイル群にマッチする式として得られる。

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) - 67 \log (Q_m / 1.5 \times 10^{-9}) \dots \dots \dots (9)$$

第5図には強制劣化コイル群(第2表)について、(9)式による V_R 計算値と V_R の実測値の関係をプロットしたが、両者はかなり良く一致する。

〈4.4〉 経年運転劣化コイル群の関係 経年運転劣化コイル群に対しても(9)式が成り立つかどうかをみるため、誘導電動機コイルを新たに20本供試し、これを(B')群とした。第3表に(B')群のコイルの測定結果をまとめて示す。その測定値を(9)式に代入し V_R 計算値を求めた。その V_R 計算値と V_R の実測値

第 3 表 16 年運転誘導電動機コイルの特性

Table 3. Properties of induction motor coils used for 16 years.

コ 番 イ ル 号	Δ at E (%)	Q_m at $E/\sqrt{3}$ ($\times 10^{-9}$ C)	V_R (%)	V_R 計算値 (%)	コ 番 イ ル 号	Δ at E (%)	Q_m at $E/\sqrt{3}$ ($\times 10^{-9}$ C)	V_R (%)	V_R 計算値 (%)
1	7.4	3.4	55	63	11	6.7	1.8	83	84
2	7.1	1.5	86	87	12	7.6	2.4	73	74
3	8.5	2.0	73	78	13	9.4	6.6	40	45
4	10.2	2.0	70	73	14	12.6	5.0	43	41
5	9.7	4.7	42	49	15	8.1	1.5	92	85
6	12.2	1.9	71	71	16	9.8	2.7	67	65
7	10.8	1.8	76	76	17	9.6	1.5	85	82
8	7.1	3.4	58	66	18	7.8	1.8	82	82
9	8.5	1.5	84	85	19	9.2	1.5	83	83
10	8.9	1.5	89	84	20	6.6	1.5	90	82

第 6 図 16 年運転誘導電動機コイルの V_R (実測値) と V_R 計算値の相関Fig. 6. Correlation between V_R (measured) and calculated V_R for induction motor coils used for 16 years.

の関係をプロットしたのが第 6 図であるが、両者はかなり良く一致する。つまり、経年運転劣化コイル群に対して (9) 式がよくマッチする。

また、レジンが不飽和ポリエステルレジンであってもエポキシレジンであっても、共通して (9) 式が当てはまることは、劣化形態が良く似ていることによると考えられる。アスファルト絶縁と異なり、レジンの耐熱性、耐機械力があるレベル以上優れていて熱劣化しにくいものであれば、劣化はマイカとレジンの界面の微小はくりから主として生ずると考えられ、レジンの種類にはあまり関係ないのであろう。

〈4・5〉 従来の劣化判定基準との関係 コンパウンド絶縁 6.6kV 巻線の劣化判定基準は、残存絶縁破壊電圧が $2E+1kV$ (ここで、 E は定格電圧) 以上あるかどうかを判定するための基準であり、 $\Delta \tan \delta \leq 6.5$

第 7 図 電動機コイルの V_R と Q_m の相関Fig. 7. Correlation between V_R and Q_m for used induction motor coils. 第 8 図 電動機コイルの V_R と Δ の相関Fig. 8. Correlation between V_R and Δ for used induction motor coils.

%, $\Delta I \leq 8.5\%$, $Q_m < 10 \times 10^{-9}C$ (それぞれ第 1 表参照) の 3 項目中 2 項目がパスすればよいとされている⁽¹⁾。 $\Delta I \approx \Delta C/C_0$ であるから、前の 2 項目を Δ の基準になおすと、 $\Delta \leq 15\%$ に相当する。

第 3 表に記した (B) 群コイル 20 本のデータを、上記基準と比較するため、第 7 図および第 8 図のように V_R と Q_m および Δ との関係でプロットした。 V_R と Q_m あるいは Δ との関係を表わす近似式は (5), (6), (8) 式から幾分ずれている。

初期コイルの絶縁破壊電圧は、一般に定格電圧の 4 ~ 6 倍になるよう設計されている。そこで試験電圧は V_R にして 50 ~ 30% に相当する。ここでは $V_R = 30\%$ のところを終点と仮定して、ラインを引いて比べてみる。図中、 N は定常劣化コイル群、 P は局所劣化を含むコイル群 (つまり Δ の割に V_R が異常に低いコイル群) を表わす。これから次のことが言える。

(i) 従来の劣化判定基準は、局所劣化を含む P 群コイルにはほぼマッチする。

(ii) 定常劣化している N 群コイルには、 Q_m の基準は緩すぎ、 Δ の基準は厳しすぎる。

(iii) ある年月以上運転した巻線には、必ず局所劣化が生じていると考えるならば、巻線として全コイルを測定すると Q_m は最大値、 Δ は平均値がでるので、ほぼ P 群の線にのり、レジン巻線の劣化判定を従来の基準で行なってもさほど問題はない。

〈4.6〉 **D. MAP による表示法** 第9図は、第2表と第3表のデータを、 $\log Q_m$ を X 軸、 Δ を Y 軸に目盛った座標にプロットした Δ と Q_m の相関マップである。 Δ も Q_m も放電に関連する値であるから、これを Discharge Map (D. MAP と略記) と称する。

(9)式で表わされる関係を、 V_R をパラメータとして描くと直線で表わされる。また、6.6kV コンパウンド絶縁巻線の劣化判定ラインは破線のようにになる。プロットされたコイル群は、 N 群と P 群に大別される。それぞれ劣化が進行するほど矢印の方向へ移行すると考えられる。 X 群は定常劣化コイルに局所劣化が発生し、進展しつつあるものと考えられる。

(9)式に基づく $V_R=30\%$ のラインと従来の劣化判定ラインを比べると、局所劣化を含む P 群コイルに対してはほぼ一致するが、定常劣化の N 群コイルに対しては、従来の劣化判定ラインは厳しすぎると言えよう。

第10図は $\Delta C/C_0$ と $\Delta \tan \delta$ の相関をプロットし

第9図 Δ と Q_m の相関マップ

Fig. 9. Correlation map of Δ and Q_m .

第10図 $\Delta C/C_0$ と $\Delta \tan \delta$ の相関

Fig. 10. Correlation between $\Delta C/C_0$ and $\Delta \tan \delta$.

たが、 $\Delta C/C_0 \approx 1.4 \Delta \tan \delta$ の関係が、 N 群コイル、 P 群コイルを問わずに成り立つことがわかる。そこで、D. MAP の Y 軸として、 $\Delta C/C_0$ をとつても $\Delta \tan \delta$ をとつてもよいと言える。あえて Δ をとつたのは、将来において AIA による γ 値を採用する場合のことを考慮し、 γ とシェーリングブリッジによる Δ とが、実験的に割と良く一致することがわかったことによる。

〈4.7〉 運転中回転機巻線の絶縁診断上の問題点

巻線の定期点検時に Δ と Q_m を測定し、これを D. MAP にプロットし、経年変化を追跡することによって劣化の傾向、その進む速さ、残存絶縁破壊電圧に関する有力な情報が得られるであろう。絶縁の更新が必要となるライン (例えば、 $V_R=30\%$ のライン) と共に、例えば $V_R=50\sim 60\%$ のラインをコイル抜き取り精密検査を要するラインとして記入してもよい。

実際の巻線に対して D. MAP 表示法を適用する場合に問題となるのは、測定された Δ および Q_m が絶縁層のそれなのかどうかである。

まず、電界緩和層が電界非線形抵抗特性をもつシリコンカーバイド塗料の場合には、 Δ に影響が入るので適正な補正が必要となる⁽⁸⁾。

また、巻線が吸湿しない汚損した場合には、エンド放電の Q_m が絶縁層内部放電の Q_m より一けた程度大きくなることがある⁽⁹⁾。 $Q_m \geq 1 \times 10^{-8} \text{ C}$ と測定され

場合にも、エンド放電に起因している可能性がある。例えば池田氏が見いだした⁽⁹⁾最大放電電荷-電圧特性の傾き Q_m を加味して、最終的な絶縁劣化判定を行なう必要がでてこよう。この問題については、将来において Δ (あるいは AIA による γ で置き換える) および Q_m の測定を自動化し、電圧による Δ と Q_m の変化を D. MAP 上の軌跡として表わす方法によって、エンド放電かどうかを見分ける情報が得られると思っている。

また、最近の絶縁には、フレークマイカに代わって集成マイカが普及しつつある。集成マイカ・エポキシ絶縁の運転経年劣化コイルについて、本研究のような実験を行なう機会はまだないが、強制劣化を与えたモデルバーコイルで実験したところ、かなり異なった劣化形態を示すことがわかった。また、同じ集成マイカ・エポキシ絶縁でも、減圧加圧含浸方式かプリプレグ方式かによって異なり、同じプリプレグ方式でも裏打材(ガラスクロスか不織布)、集成マイカ(軟質か硬質か、あるいは焼成か未焼成)およびレジンの種類によって異なる。これは、フレークマイカではマイカ片内のはがれという共通点があるのに、集成マイカではマイカ小片(普通、平均直径 0.4~1.0 mm)内の微小はくりが、いわゆる局所劣化へと進展するのに、レジンとマイカの接着強さやレジン自体の強さが大きく影響するからであろう。

いずれにしても集成マイカ・レジン絶縁の劣化判定基準は、フレークマイカ・レジン絶縁のそれとは別に決める必要があり、かつ、各メーカーの絶縁に対して少しずつ異なった基準が必要となる可能性が強い。

更に巻線に発生した放電を、ライン側あるいは中性点接地線側のいずれから測定するにせよ、 Q_m はかなり減衰してでてくることになる。その減衰の程度は放電発生コイルの巻線中の位置によって異なるため、減衰を考えなくてもよいコイル単体について定めた基準を、そのまま巻線にあてはめることはできない。通常は、運転中に加わる電圧が高いライン側に近いコイルの方が劣化が激しく、局所劣化も生じやすいと考え、ライン側で Q_m を測定すればよいとされているが、(B)群コイルの局所劣化コイルの位置は必ずしもライ

ン側に近くはなく、むしろ巻線中に散ばっていた。

今後しばらくの間は、フレークマイカ・レジン絶縁の巻線について、非破壊試験および破壊試験のデータ、あるいは抜取コイルと巻線のデータなどを D. MAP で整理し、その有用性をチェックしたいと考えている。

5. ま と め

以上、フレークマイカ・レジン絶縁コイルの絶縁劣化診断について報告した。そこから得られる結論は次のようになる。

(1) 経年運転劣化コイル群および強制劣化コイル群のなかには、一様劣化コイルと局所的異常劣化コイルとが存在する。

(2) 本研究で供試したいずれのコイル群にも共通して、次の残存絶縁破壊電圧算出式が適用できた。

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) - 67 \log(Q_m / 1.5 \times 10^{-9})$$

(3) $\log Q_m$ を X 軸、 Δ を Y 軸に目盛った「D. MAP」上にプロットすると、定常劣化方向と局所劣化方向、すなわち劣化の形態が判別できる。

(4) $V_R = 30\%$ を一応の使用限界ラインとして、コンパウンド絶縁巻線の基準と比較すると、局所劣化を含む巻線に対してはほぼ一致する。

終わりに、本研究に対し有益な討論をいただいた、日立製作所日立工場 庄山部長、松延副技師長、安芸主任技師、並びに日立研究所 宮下主管研究員、および実験に協力していただいた同所 高村技師、藤岡君に感謝の意を表する。

(昭和 54 年 11 月 19 日受付、同 55 年 5 月 24 日再受付)

文 献

- (1) 電中研技報, No. 67001 (昭 42)
- (2) 池田, 他: 同上, No. 175526 (昭 51)
- (3) 東村, 他: 電気学会絶縁材料研究 EIM-78-74 (昭 53)
- (4) 平林, 他: 電学論 A, 94, 317 (昭 49-8)
- (5) 寺瀬, 他: 同上 A, 93, 45 (昭 48-2)
- (6) 門谷, 他: 日立評論, 61, 355 (昭 54-5)
- (7) 門谷, 他: 電学論 A, 100, 250 (昭 55-4)
- (8) 門谷, 他: 昭 54 電気学会東京支大 63
- (9) 池田, 他: 電中研技報, No. 176023 (昭 51)