油入変圧器の油中ガス分析による絶縁異常 診断法 (第2報) 稼動中の油入変圧器への適用結果

関西電力株式会社 木 下 仁 志
 関西電力株式会社 松 村 晋
 関西電力株式会社 広 瀬 澄 男
 関西電力株式会社 阪 上 三 郎

1. ま え が き

油入電力機器の絶縁診断の一手段として採用されている油中ガス分析法について、筆者らはさきに基礎的検討を行ない、測定精度に影響する諸要因、分解ガスの成分と温度との関係など一連の研究結果を詳細報告した。⁽¹⁾

現在、当社の稼動油入機器に対するガス分析法の対象機器は主要変圧器、分路リアクトル、負荷時電圧調整器、接地変圧器、所内変圧器などほとんどの油入機器に及んでおり、測定インターバルも、異常なしの機器については原則として年1回、異常機器についてはその程度に応じて年2回以上測定している。

昭和47年3月末までの、6箇年間の油入機器ガス分析診断の実績を示すと第1表のとおりであって、ガス分析結果から内部に何んらかの異常があると思われるものあるいは取り扱いに注意を要するものの全台数は、ガス分析対象台数2,723台の約14%に相当する368台である。このなかで、特に内部点検（以下内点と略称する）の必要があると認められたものは120台であるが、このうち98台について実際に内点を行ない、88台に異常箇所を見出した。したがって、内

第1表 油入機器ガス分析診断実績

Table 1. Results of judgment by gas analysis test on oil insulation transformers.

(昭和41年4月～昭和47年3月)

1. ガス分析全台数 (分析総件数)	2,723 台 (7,489 件)
2. 内部に何んらかの異常があると思われるもの、あるいは取り扱いに注意を要すると思われるものの全台数	368 台
内部点検を行ない異常のあることを確認する必要があると思われるものの全台数	120 台 (33%)
3. 内部点検実施全台数 〔異常箇所発見全台数(診断的中率)〕	98 台 88 台 (89.6%)
4. 異常箇所発見全台数の内訳	88 台
当初通常であったものが途中から異常となり内部点検したものの全台数	22 台 (26%)
当初から異常で内部点検したものの全台数	66 台 (74%)

点により実際に異常が認められたものの診断的中率は約90%である。残り10%は不明または不明確のまま、要注意の形で運転を継続している。

この異常の判定区分を適正明確にするために、経年によりわずかのガス発生のみが認められ異常なく運転している機器（以下、通常機器という）について経年変化の実態をつかむことと、異常箇所を発見したものについて、故障機相と内点直前のガス分析データの相関を調べるが必要となってくる。

これに関連してすでに電力用変圧器約350台の経年変化に関する報告があるが、⁽²⁾ これは統計台数も少なく容量、構造などの区別が明らかでない。

現在、当社で採用しているガス分析診断暫定基準は第2表に示すとおりであるが、これは昭和44年に仮

Judgment of Electrical Insulation Deterioration by Oil-dissolved Gas Analysis Test on Oil Insulation Power Transformer (II). Results of Application to Oil Insulation Power Transformer in Service. By H. KINOSHITA, Member, S. MATSUMURA, Non Member, S. HIROSE, Member & S. SAKAJI, Member (The Kansai Electric Power Co., Ltd.).

木下仁志：正員、関西電力株式会社総合技術研究所副所長

松村 晋：関西電力株式会社総合技術研究所電力施設研究室

広瀬澄男：正員、関西電力株式会社総合技術研究所電力施設研究室

阪上三郎：正員、関西電力株式会社総合技術研究所電力施設研究室

第 2 表 ガス分析診断暫定基準

Table 2. Tentative criteria for judgment of internal defect buy gas analysis test.

	通 常	異 常	
		軽 異 常	重 異 常
1. 可燃性ガス総量	軽異常以下のもの	(1) 容量別可燃性ガス総量 50 MVA 未満 2.0 Vol %以上 50~100 MVA 1.5 " 100~200 MVA 1.0 " 200 MVA 以上 0.5 " (2) 経時上昇の急激なもの	可燃性ガス総量、経時上昇とも軽異常時の2倍以上となったもの
2. 個々の可燃性ガス(一酸化炭素ガスを除)	同 上	平均値の約 1.5 倍以上	軽異常の2倍以上
3. 炭酸ガス、一酸化炭素ガス	同 上	"	同 上
4. アセチレン	同 上	微量の発生	0.01 Vol % 以上
5. そ の 他	ここに記載のない場合でも、総合的に判断して異常とみなされるもの		

りに設定したものであって、当時はまだデータも少なく軽異常(要注意の取り扱いをするもの)の判定の基準は、その当時の数少ない経年変化データから経験的に制定しており、重異常(内点を要するもの)は軽異常の値の2倍以上と取り決めている。

実績からみると重異常の診断的中率は幸いにも良好であったが、軽異常の判定根拠には問題があるように思われる。そこで昭和 47 年 3 月末現在で稼働中の油入機器のうち約 2,000 台を選び、次のような観点からガス分析データの統計処理を行ない、故障モデル実験と対比し、検討を加えることとした。

- (1) 通常機器の容量、構造別経年変化の調査。
- (2) 通常、異常機器のガス分析パターンとガス発生の推移の調査。

この検討の結果、通常機器の経年変化の傾向が劣化防止装置(開放形、活性アルミナ形、窒素ガス封入形)別にはあくしえたこと、通常機器の可燃性ガス総量と一酸化炭素ガス量との間には相関性があること、通常機器のガス分析パターンと対比して異常機器のそれはおおむね、4 種類の形にわけられ、故障種別と相関を有すること、ガス発生量の時間的な増加率から異常を推定しうること、などが明らかになった。

2. ガス分析データの統計処理方法

今回、ガス分析データの統計処理の対象とした油入機器は主要変圧器、分路リアクトル、負荷時電圧調整器、所内変圧器など、約 2,000 台で、これを容量別、劣化防止装置別に示すと第 3 表のとおりであって過半数が、10 MVA 以上の主要変圧器及び分路リアクトルで窒素ガス封入方式のものが多い。

統計処理に使用した電子計算機は IBM 360-M 50 でそのインプットデータの項目は第 4 表に示すように選んだ。また、データの不ぞろいをなくすため、採油容

第 3 表 対象油入機器の内訳

Table 3. Details of oil insulation apparatuses applied for statistical study from gas analysis records.

劣化防止装置	定格容量 1MVA 以下	2~9 MVA	10MVA 以上	計
開放形	135 (4)	137 (12)	55 (1)	327 (17)
活性アルミナ形	43 (1)	215 (6)	140 (1)	398 (8)
窒素ガス封入	56 (2)	315 (16)	867 (27)	1,238 (45)
計	234 (7)	667 (34)	1,062 (29)	1,963 (70)

(注) 1.5 MVA は 2 MVA とみなしている。() 内は内部点検を実施した重異常器全台数を再掲したもの。なお隔膜式は窒素ガス封入式のなかに含めてある。

第 4 表 インプットデータの項目

Table 4. Items of input data of electronic data processing system.

機器仕様カード (1枚)	機器 No., 用途, 相数, 冷却方式, 劣化防止装置, メーカー名, 製年, 改造年, 定格容量, 定格一次電圧, 本体油温, 最終過または油取替年月, 製造番号, ガス分析用機器 No.
ガス分析カード (2枚)	ガス分析用機器 No., 採油年月日, 炭酸ガス, 酸素, 窒素, フロンの各ガス量, 溶存ガス総量, 採油容器の種類, 溶存ガス抽出方法, 分析ガス種類, ガス分析データ No. ガス分析用機器 No., 採油年月, メタン, エタン, エチレン, プロパン, プロピレン, イソブタン, アセチレン, フロン, 水素, 一酸化炭素の各可燃性ガス量, 可燃性ガス総量, 通常, 異常判定, ガス分析データ No.
事故障害機器カード (1枚)	ガス分析用機器 No., 事故発生年月日, 復旧年月日, 異常発生年月日, 内部点検年月日, 故障種別, 製造番号, 故障対応ガス分析データ No., 事故障害カード No.

器(広口びんとブリキかんのデータがある)はチャップふたプロテクタ付ブリキかん、溶存ガス抽出(トリチエリ法とテプラーポンプ法とがある)はテプラーポンプ法、ガス種類(12 と 13 種類とがある)は 13 種類の条件に合致した分析データのみを使用することとした。

アウトプットはすべて作表されてタイプアウトされる。また、ガス量の単位としては、従来からの (Vol %) 表示は追跡分析の場合とか、劣化防止装置の異な

るものを比較する場合などに、溶存ガス量の変動によって数値が異なってくるので、今回はすべて (ml/100 ml oil) で表示することとした。

3. 統計処理の結果

〈3・1〉 通常機器の炭酸ガス、一酸化炭素ガス、可燃性ガス総量の経年変化 通常運転中の油入機器約 1,700 台について、発生ガスの経年変化を調べる目的で、一般に自然劣化に伴ない発生すると思われるガスすなわち、炭酸ガス (CO₂)、一酸化炭素ガス (CO) を選んで、容量別 (小形: 1MVA 以下, 中形: 2~9 MVA, 大形: 10MVA 以上), 劣化防止装置別 (開放形, 活性アルミナ形, 窒素ガス封入) に分けて、経年ごとの平均値を求めた。なお、一酸化炭素ガスとの相関をみるために、可燃性ガス総量についても統計を行った。ただし、絶縁油を取り替えた場合または脱気処理した場合にはこの時点からの経年をとった。

また、データのばらつきについては分布曲線を求めて調査したが、その分布はほぼ二項分布をなしており標準偏差は 0.7~1.1 (pu) で相当大幅に分散していた。

容量別、劣化防止装置別に可燃性ガス総量の経年変化を示すと第 1 図に示すとおりであって、容量が大きくなると経年に従ってガス量がいくぶん多くなっている。劣化防止装置別による発生ガス量は窒素封入形が少なく、開放形が多いといえる。

次に、軽異常機器を含めた約 1,900 台について同様経年変化を調べた結果、通常機器のみの場合に比べて約 1.1~2.0 倍程度ガス量の平均値が増加している。これは軽異常機器の (約 200 台) ガス量の平均値が通常機器のそれに対して 2~10 倍大きいことを意味している。

〈3・2〉 異常機器の発生可燃性ガスパターンと時間の変化 内部点検を実施した重異常機器のうち、

第 1 図 通常機器の容量別可燃性ガス総量の経年変化

Fig. 1. Ageing trend of total combustible gas of normal apparatus classified by capacities and type of accessories.

異常箇所が完全にはっきりしているものは 60 台あるが、そのうちから第 5 表に示すような代表例 20 台について発生可燃性ガスの成分比率のパターン (以下、これを単にガスパターンと略称す) を次の四つの故障種別にまとめると、第 2 図~第 5 図のとおりである。

(1) 裸金属加熱 (すなわち、鉄心部分での漏れ磁束によるうず電流発生熱及びリード線部分の接触不良による接触抵抗発生熱によるもので鉄心、リード線加熱ともいえる)

(2) 裸金属、絶縁物加熱 (すなわち、主に鉄心締付用絶縁ボルトなどの絶縁不良による誘導電流発生熱及びコイル部分の接触不良による接触抵抗発生熱によるもの、絶縁ボルト、コイル加熱ともいえる)

第 5 表 故障種別による可燃性ガス総量及び一酸化炭素ガスの増加率

Table 5. Increase rate in total combustible gas, carbon monoxide gas and acetylene gas of four internal defect types.

故障種別		定格容量 (MVA)		油 量 (l)	可燃ガス 総量増加 率 (ml/h)	CO ガス 増加率 (ml/h)	C ₂ H ₂ ガス 増加率 (ml/h)
非 放 電 加 熱	裸 金 属 加 熱	A	6	5,000	1.10	0.04	—
		B	40	8,000	2.67	0.17	—
		C	4	7,000	3.43	0.63	—
		D	4	7,000	4.05	1.03	—
		E	14	6,000	5.49	0	—
		F	40	8,000	6.56	0	—
		G	2	3,400	7.43	0	—
		H	2	2,560	8.63	0.71	—
		I	10	13,670	11.4	0	—
		J	150	63,000	12.5	0	—
		K	6	5,700	21.1	0.06	—
	裸絶縁 金属物・ 加	L	20	26,260	14.9	1.85	—
		M	22	49,700	15.4	1.77	—
		N	90	48,000	39.8	1.70	—
放 電 加 熱	リ放電・ ド加熱 線熱	O	6	5,700	36.1	0.36	2.54
		P	44	11,400	51.9	0.06	1.60
		Q	6	5,000	14.4	0	0.40
	コイル 電加熱 放	R	4	7,400	35.5	2.99	4.0
		S	20	9,360	63.1	26.5	5.6
		T	1	1,980	89.7	6.11	13.6

第 2 図 裸金属加熱の可燃性ガスパターン

Fig. 2. Combustible gas pattern of bare metal heating.

第 3 図 裸金属絶縁物加熱の可燃性ガスパターン

Fig. 3. Combustible gas pattern of bare metal and solid insulator heating.

第 4 図 リード線放電加熱の可燃性ガスパターン

Fig. 4. Combustible gas pattern of conductor discharge heating.

第 5 図 コイル放電加熱の可燃性ガスパターン

Fig. 5. Combustible gas pattern of partial discharge heating in coils.

(3) リード線放電加熱（リード線部分などの接触不良によるアーク放電発生熱によるもの）

(4) コイル放電加熱（コイルの絶縁不良などによるコロナ放電発生熱によるもの）

各パターンのあらわし方は、可燃性ガス総量を 1.0 として、水素 (H_2)、一酸化炭素 (CO)、メタン (CH_4)、エタン (C_2H_6)、エチレン (C_2H_4)、プロパン (C_3H_8)、プロピレン (C_3H_6)、アセチレン (C_2H_2)、イソブタン ($i-C_4H_{10}$) の順に個々のガス量 (pu) をプロットしたものであり、上限は最大値を下限は最小値を示したものである。

それぞれの故障種別ごとにガスパターンの特徴をみると、裸金属加熱のガスパターンは、油の分解ガスの傾向が強くでており、メタン、エチレン、エタン、プ

ロピレン、水素が過半を占めている。一酸化炭素及びプロパンはわずかである。パターンの形としては三山形となっており、アセチレンは認められない。

ところが、裸金属、絶縁物加熱のガスパターンは、油の分解ガスに絶縁物の分解ガスが加わり、メタン、エチレン、プロピレンが、ほぼ同量を占め、そのうえに一酸化炭素が水素以上に目だってくる。したがってパターンの形は裸金属加熱と同じく三山形であるが、左にすそをひく形になる。次に、リード線放電加熱では、放電による油の高温分解ガス ($1,000^{\circ}C$ 以上) の特徴を示す水素及びアセチレンが発生する。

しかし水素のほうは、放電を伴わない加熱に比べて目だって多くない。これは開放形においては、水素の一部分が気中に放出されるためと考えられる。

ガスパターンの形は放電を伴わない加熱と同じ、三山形であるが、右にすそを引いている。

コイル放電加熱のガスパターンは油の高温分解ガスに絶縁物の分解ガスが加わって、前記の三山形から、左高山形に変形している。すなわち、水素及びアセチレンのほか、一酸化炭素が目だって多くなり、絶縁紙などの分解ガスの影響があらわれている。

これらの重異常機器の発生ガスパターンに比べて通常機器のものの発生ガスパターンをみると経年のあまりたっていないものは、可燃性ガスのほとんどが水素と一酸化炭素であり、経年変化が加わってくると、いくぶんメタン、エチレン、プロパン、プロピレンなどが発生もするが、いずれも左高山形パターンを示す。

また、絶縁紙などの劣化が大きいと思われるもののガスパターンは、一酸化炭素が多く、他のガスは極端に少なくなっているため、重異常機器のパターンと区別をつけられる。しかし経年変化が大きくなるほど発生ガスパターンだけでは通常と異常の区別がつけ難くなる傾向が見うけられる。この場合には後述するように発生可燃性ガスの絶対量と時間的増加率からもチェックする必要がある。

次に、上記の 60 台について、故障種別ごとに可燃性ガス総量の時間的変化を求めると第 6 図のとおりであって、これより放電を伴わない加熱と伴う加熱との間には大きな差が認められることがわかる。

また、いずれの故障種別でも可燃性ガス総量の時間的変化の下限は $0.1ml$ 、 $100ml$ oil（以下これを異常区分最低値と称する）をこす部分から増加率が急激に大きくなっており、通常機器 1,700 台の可燃性ガス総量の月別時間的変化の上限値と比べてみても、かなり上回っている。このことは第 2 表のガス分析診断基準において異常区分を修正するのに大きな手がかりとな

第 6 図 故障種別ごとの可燃性ガス総量の時間的変化

Fig. 6. Hourly increases of total combustible gas by four internal defects and normal apparatus.

る。

〈3.3〉 故障モデル実験による発生ガスのパターンと時間的変化 故障種別ごとの発生ガスパターンの一般性を検証するため、2kVA 単相変圧器 (6,600/210 V) を用いて実施した裸金属加熱モデル実験 (鉄心加熱試験)、裸金属、絶縁物加熱モデル実験 (コイル層間短絡加熱試験) 及びコイル放電加熱モデル実験 (部分放電試験) におけるガス発生パターンと〈3.2〉節で述べた重異常機器のそれとを比較した。その結果はすでに第 2, 3 図及び第 5 図に示したとおりであって、裸金属加熱及びコイル放電加熱では、おおむねその傾向は一致しているが、裸金属、絶縁物加熱では 2kVA 変圧器のガスパターンはエタンの占める割合が多いため、三山形を示さない。これは加熱部分の絶縁物の種類、量、規模など、ガス発生に関する要因が多く複雑であることを意味するものと考えられる。

次に、可燃性ガス総量の時間的増加率について、前記の重異常機器の裸金属加熱と裸金属加熱と裸金属、絶縁物加熱の異常区分最低値付近と故障モデル実験とを比較したが、その結果いずれも故障モデル実験の増加率のほうが、重異常機器の値を大幅に上回っており、大きさ、構造、材質などの点で故障モデルと実用器との差について、検討を加える必要があらうと思われる。

4. 考 察

〈4.1〉 通常、異常機器の判定 油入機器の絶縁異常診断の目的は、運転中の機器が異常を起こしつつ

あるのを、できるだけ早期に発見すること、及び、異常と判定された機器の故障種別と故障の規模とを推定し運転上の指針を得ることである。

まず、前者についてみると、〈3.1〉節において、約 1,700 台の通常機器について、自然劣化を代表するガスとして、炭酸ガス、一酸化炭素ガス及び可燃性ガス総量を選び、その平均値の経年変化を求めたが、通常か異常かを判定するためには、分析データのばらつきを考慮して、平均値に適当な信頼度を見込んだ診断基準曲線を作成すべきである。

そこで前記の窒素ガス封入形通常機器について、その代表例として各年 1 年のもの 163 台、各年 5 年のもの 93 台、経年 10 年のもの 67 台に分けて、可燃性ガス総量に対する累積台数曲線を求めると第 7 図のようになる。現在の油中ガス分析の精度、診断的中率などから、通常機器と判定する確率を 90% 以上とするのが妥当と考えられる。第 7 図から、これに相当するガス量を求めるとほぼ $(\text{平均値} + 2 \times (\text{標準偏差}))$ となることがわかる。この考え方を通常機器の劣化防止装置別の経年変化曲線に適用し、診断基準曲線を求めると第 8 図～第 10 図のようになる。ただし、経年 10 年以降は、該当台数が少ないため、その標準偏差の値に真意性が乏しいと考えられるので近似的にみて 10 年付近の値とほぼ等しいものとして算出した。

なお、第 8 図に示す炭酸ガスは、可燃性ガスではないが、従来から油、絶縁物過熱では一酸化炭素ガスとともに分解発生するガスであり、特に絶縁物過熱の異常診断用として適しているので経年変化曲線を求めることとした。また通常機器の経年変化では可燃性ガス

第 7 図 窒素ガス封入機器の可燃性ガス総量累積台数曲線

Fig. 7. Distribution of cumulative total of nitrogen-sealed apparatus generating combustible gas.

第 8 図 信頼度を見込んだ炭酸ガス量経年変化曲線

Fig. 8. Ageing trend curve of carbonic acid gas of allowing for reliability normal apparatus.

第 9 図 信頼度を見込んだ一酸化炭素ガス量経年変化曲線

Fig. 9. Ageing trend curve of carbon monoxide gas of allowing for reliability normal apparatus.

第 10 図 信頼度を見込んだ可燃性ガス総量経年変化曲線

Fig. 10. Ageing trend curve of combustible gas of allowing for reliability normal apparatus.

として、水素、メタン、エチレン、一酸化炭素ガスなどがあげられ、特に絶縁紙部分の劣化の場合は一酸化炭素ガスが目だってくる。いずれにしても可燃性ガス総量と一酸化炭素ガスの間には第 9 図と第 10 図からわかるように経年的にみていずれの劣化装置でも相関

性が見うけられる。いずれにしてもこれらの図よりガス量が基準曲線以内にあれば、最低 90% の信頼度で通常機器とみなし得るわけである。

たとえば、経年 10 年で運転中の油入機器の可燃性ガス総量を測定し、0.06 ml/100 ml oil を示したとすると、これが通常か異常かは、第 10 図の基準曲線に照し合せ、開放形、活性アルミナ形では通常と判定されるが、窒素ガス封入形では、やや異常の範囲にはいっているの、異常機器の取り扱いを要すると判定できる。しかし可燃性ガス総量に関する基準曲線は、第 10 図に示すように、開放形、活性アルミナ形の場合経年 20 年以上で、異常区分最低値をこえる。つまり、経年がこの程度の場合は、可燃性ガス総量のみによっては通常、異常の判定をするのが困難となる。

従来軽異常機器として、要注意の取り扱いをうけ運転中のものの中には、経年の大きいこの種の機器が多く含まれているのは、このあたりに問題があるためである。したがって、このような場合は、後の〈4・2〉節で述べるように、発生ガスパターンならびに時間的増加率にも着目して別の角度から検討を加える必要がある。ちなみに、第 10 図にガスの時間的増加率が最も低い裸金属加熱の場合第 6 図参照の最低増加率曲線を記入したが、自然劣化による増加率が最も高い、開放形と比べても、その差が認められ通常、異常の区別をつけることがわかる。

また、重異常機器の 70 台について、可燃性ガス総量の最大値（異常と判定した、時点における値をいう）に対して累積台数曲線を求めその一部を、第 7 図中に記入したが、これより窒素ガス封入形の通常機器と比較して、経年に関係なくその値には明らかな差が認められる。

次に経年変化基準曲線からは異常と判定された機器でも、可燃性ガス総量が異常区分最低値 (0.1 ml/100 ml oil) 以内にあるものについては、診断がむづかしくなる。

もし、異常区分最低値が経年ごとに与えられるものとすれば、これと照合することにより、異常について経年を加味した合理的な判定ができるものと思われるが、ここでいう異常区分最低値は、前述したように重異常機器のデータから経年とは関係なく求めたものである。

したがって、現段階ではこの範囲にはいるものは、さらに可燃性ガス総量の増加率及び発生ガスパターンよりの推定を加味して判定し、もしこの方法でも判定不能なものは、軽異常機器として取り扱うことが、適

第 6 表 ガス分析診断改善基準 (案)

Table 6. Improvement criteria for judgment of internal defect by gas analysis test.

	通常	異常
1. 可燃性ガス総量	異常以下のもの	(1)劣化防止装置別可燃性ガス総量が経年ごとに第10図の診断曲線以上のもの (2)経時上昇が第10図の最低増加率以上のもの
2. 炭酸ガス(一酸化炭素ガス)	"	劣化防止装置別炭酸ガス量が経年ごとに第8図の診断曲線以上のもの(劣化防止装置別一酸化炭素ガスが経年ごとに第8図が診断曲線以上のもの)
3. アセチレン	"	0.4 ml/h 以上

(注) 内部点検の目途として、可燃性ガス総量の増加率 1ml/h を参考とする。

と思われる。

以上から第2表のガス分析診断暫定基準を、現在最も妥当性のあるものに改善すると第6表に示すような案が考えられる。

〈4・2〉 異常機器の故障様相の推定 すでに、〈4・1〉節において述べたように、異常と判定された機器について、内点実施前に故障様相を推定するということは、油入機器の絶縁異常診断の重要な項目である。

この種の絶縁診断法には、絶縁抵抗測定(メガー測定)部分放電の検出、誘電正接測定、絶縁油特性試験(酸価、抵抗率などの測定)などがあるが、いずれもガス分析による法に比べると、今のところ故障様相を具体的に診断するのに不十分な点が多いとされている。今回実施した重異常機器のガス分析データの統計による解析も、その目的とするところは異常個所の診断的中率をいかにあげるかにある。以下この点について考察する。

〈3・2〉節において述べたように、重異常機器の発生ガスパターンを故障種別から4種類に分けたが、故障モデル実験の結果とも考えあわせ、今後の故障種別の推定にこの分類法を利用することは妥当性があるものと考えられる。

すなわち、第2図～第5図がそれぞれ裸金属加熱、裸金属、絶縁物加熱、リード線放電加熱及びコイル放電加熱を代表するガスパターンと考えてよからう。

ただし、裸金属、絶縁物加熱については、2kVAモデル変圧器による結果との対比から、第3図の裸金属絶縁物加熱の実際の機器のパターンを代表的パターンとするには多少の検討の余地は残るが、何ぶんモデル変圧器と実際使用機器との大きさ、構造、異常条件などの差違が著しく大きいので、両者のパターンのこの

第 7 表 故障発生個所別件数例

Table 7. Example of affair number classified by phase of internal defect.

故障発生個所 故障種別	鉄心	鉄心締付ボルト	リード線	コイル	タップ切換器	小計
裸金属加熱	4	5	3	—	6	18
裸金属・絶縁物加熱	1	2	1	2	1	7
裸金属放電加熱(リード線放電加熱)	—	2	1	1	4	8
裸金属・絶縁物放電加熱(コイル放電加熱)	—	2	1	4	—	7
小計	5	11	6	7	11	40

程度の差違をさほど問題とするに値しないということもできよう。

次に、第1報⁽¹⁾で述べたように異常時の発生ガス増加率は、加熱電力と相関を有しており、時間あたりのガスの増加分が多いほど故障規模は大きいと考えられる。第5表に、ガスパターンを分類するのに用いた重異常機器 20 台の故障種別ごとの可燃性ガス総量、一酸化炭素ガス及びアセチレンガスの増加率(異常と判定した時点の値をいう)を(ml/h)であらわしてあるが、放電を伴なわない加熱に比べて放電を伴う加熱は、可燃性ガス総量の増加率が大きくなっており、絶縁物を伴なわない加熱に比べて絶縁物を伴う加熱は、一酸化炭素ガスの増加率が多くなっている。

また、内点しても異常個所が不明または不明確なものであった異常機器の可燃性ガス総量の増加率が、内点直前の値で、ほとんどのものが ml/h 以下であった実績から考えて、今後、この値を内点時期の判定のめどとすることも考えられるので、さらにデータの積み重ねをはかり、その根拠を明確なものにしたい。

なお、参考までに内点の結果何んらか異常個所が発見できたもののうち代表的な 40 例について故障発生個所別件数を示すと第7表のようになる。これを故障種別でみると、裸金属過熱が半数近くを占めていることがわかる。

5. む す び

以上、油中ガス分析法を稼動中の油入電力機器へ適用した場合の実態をつかむ目的で、約 2,000 台の油入機器を対象に実施した統計結果に基づいて考察を述べたが、これらをまとめると次のようになる。

(1) 通常機器の統計結果から求めた経年変化基準曲線によって、炭酸ガス、一酸化炭素ガス及び可燃性ガス総量の発生量(ml/100ml oil)を調べることにより異常の判定ができる。

(2) 異常と判定された機器の故障様相については、発生可燃性ガスのパターンから、裸金属加熱、裸金属、絶縁物加熱、リード線、放電加熱及びコイル放電加熱の4種類に分類して推定することができる。

今後の解明を要する問題点としては、異常状態として、示す可燃性ガス総量の急増点 $0.1\text{ ml}/100\text{ ml oil}$ の理論的解明、内部点検のめどとみられる可燃ガス総量の増加率 1 ml/h の妥当性などが考えられる。

終わりに、本稿をまとめるにあたり、種々ご意見を賜った関電阪急商事(株)研究相当支配人 宮崎輝久氏、

実験の一部を担当していただいた大阪変圧器(株)研究部長 小南光夫氏、統計用プログラムの開発を分担願った総合技術研究所電力回路研究室 中尾正明氏、及びその他関係各位に深く謝意を表する。

(昭和48年2月23日受付, 同48年8月24日再受付)

文 献

- (1) 木下・松村・広瀬: 電気学会論文誌 94-B, 65 (昭 49-2)
- (2) 石井・薮波: 電学誌 90, 910 (昭 45-5)