

# 変圧器予測保全装置の開発

小松 巖<sup>\*</sup>  
Iwao Komatsu

## Development of Predictive Maintenance Equipment for Transformer

Recently it has been increasingly required to implement predictive maintenance techniques in electric power facilities for the prevention of failures and to improve efficiency of maintenance services.

This project was conducted for the purpose of developing a predictive maintenance system which detects, at an earlier stage, signs of abnormalities such as deteriorating insulation or local overheating in oil-insulated transformers which are the most important facilities of substation. Thus they prevent failures from taking place, and help reduce labor and frequency of periodical inspections.

The predictive maintenance system monitors automatically and diagnoses the transformer in operation by means of information received remotely from various sensors installed in it, to predict possible failures. This paper describes the details of items monitored by the predictive maintenance system, selection of the sensors employed, system composition methods of data processing and monitoring, and features of the monitor unit, along with diagnosis and prediction information given by the system.

## 1 まえがき

現在、変電所の保守においては、あらかじめ定めた周期で変電所に出向し、機器の運転状態をチェックする巡視点検や、機器停止による点検を実施して機器機能の維持回復を図る計画的な保全を実施している。

今後、高度情報化社会の進展に伴い、電力の安定供給、質的改善はますます重要性をおび、より一層の高信頼度化が要望されている。このため、運転中、電力機器の異常徴候を早期に捕らえて故障を未然に防止できる予測保全装置への期待が高まっている。

一方、電力機器は年々増加し、保守員に課せられる現地巡視業務や機器点検業務は増加する傾向にある。この業務を遠方からの自動監視により吸収し、保守の効率化を図る必要がある。

このような背景のもとに、最新のセンシング技術、エレクトロニクス技術を活用して油入変圧器を対象とした平常時の予測保全及び異常時の管理ができる「変圧器予測保全装置」を開発した。

本開発にあたっては、運転中の変圧器の異常現象とその特性把握、検出量と劣化度の相関性より劣化・異常判定レベルの設定、信頼性をもたせた実用装置構築の三つの柱を基本的な考え方とした。

本稿では、変圧器の故障部位における絶縁劣化現象や過熱現象などから抽出した監視内容と、適用センサの選定、装置の構成、データ処理機能と監視方法、監視装置の機能、監視・診断・予測の内容などについて、その概要を紹介する。

## 2 監視内容と適用センサ

### 2.1 変圧器故障の現状

最近の電力用油入変圧器の障害状況は、部位別では図1<sup>(1)</sup>に示すように、3437件を100%としてタップ切換器、本体・付属装置の障害が65%を占めている。このうち約半分がタップ切換器の障害である。

障害の種類は図2<sup>(2)</sup>に示すように、漏油が全体の23%、タップ切換装置、継電器の誤不動作、タップ渋滞などが約25%を占めている。これらは全障害の約半分である。

発見の動機は、監視・操作で45%、巡視で35%を占めており、全体の約80%の障害を監視・操作や巡視で見ている。

### 2.2 監視内容と適用センサの選定

2.1の障害分析の結果を反映して、最も効果的な監視内容と適用センサを選定する。

油入変圧器は鉄心、巻線、リード線、絶縁油、タンクなどを主体とする変圧器本体とタップ切換器接触子、操作機構などの負荷時タップ切換器（以下LTCという）、又は無電圧タップ切換器で構成されている。

変圧器本体内部には絶縁紙、プレスボード、絶縁油などの絶縁材料が使用されており、これらは劣化の影響の大きい材料である。

これらの絶縁材料の絶縁劣化や過熱などに伴い発生する部分放電電荷、油中溶存ガスなどを検出指標としてこ

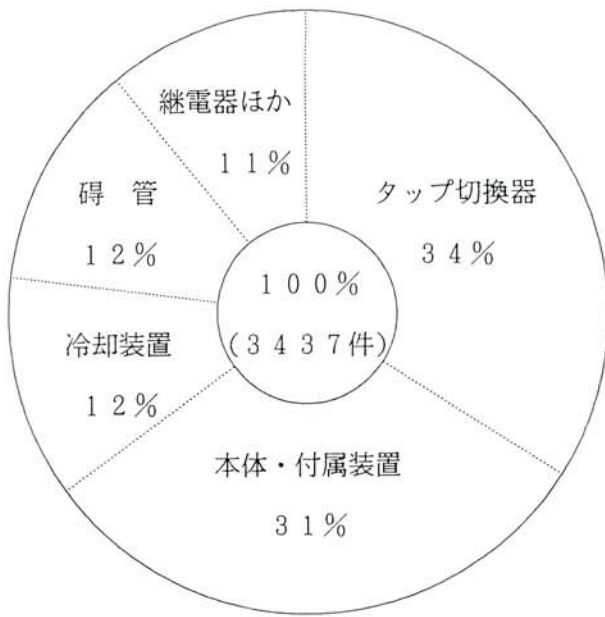


図1/障害の部位  
Fig. 1/Location of troubles

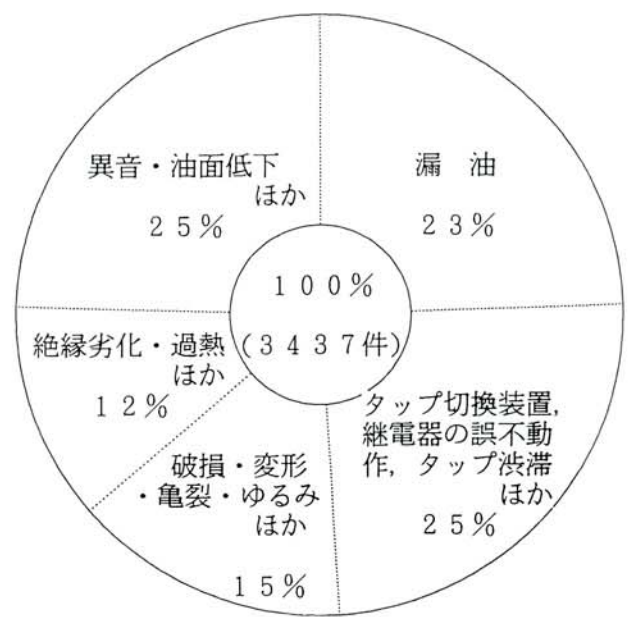


図2/障害の種類  
Fig. 2/Kinds of troubles

れに適合する14種類のセンサを選定した。図3に監視内容と適用センサを示す。

例えば、変圧器内部で部分放電が発生すると、変圧器タンクの接地線に流れる部分放電電荷を部分放電センサで、また、これらと同時に発生又は増加する油中溶存ガスを油中ガス自動分析装置によりそれぞれ検出し、異常

徴候を早期に検出する。このように異常徴候の早期発見により故障を未然防止できる。

LTCについては、負荷時タップ切換時の機構渋滞や破損空転などに進展する前の異常徴候をLTC駆動軸トルク量や駆動モータの電流、切換時間の過不足、切換回数を各センサで検出して故障を未然防止できる。

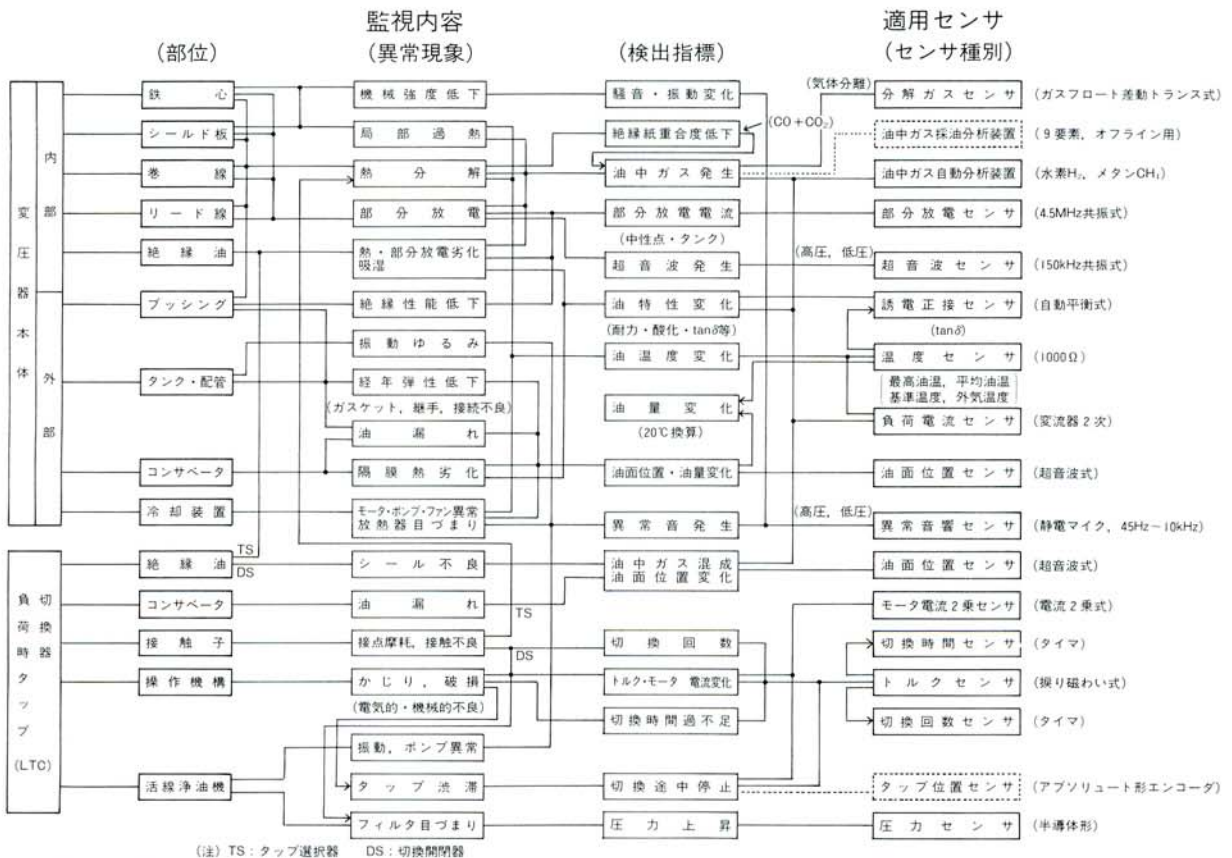


図3/監視内容と適用センサ  
Fig. 3/Items of inspection and their sensors

### 3 装置の構成

本装置は、図4に示すように、変圧器本体やLTCなどに取り付けた各種センサ、現地処理装置、及び監視装置で構成している。センサからのデータは現地処理装置内で信号変換や平均化などの簡単なデータ処理を行い、光通信で監視装置へ伝送する。

監視装置では、受け取ったデータをカラーディスプレイに図・表やグラフなどで表示し、ハードディスク内にデータを保存する。

異常発生時は、異常内容を表示するとともにプリンタ印字する。

また、これらオンライン診断とは別に現地採油の油中ガス分析結果をキーボードから入力することによりオフライン診断もできる。

### 3.1 センサ

適用センサは、図3に示すように、変圧器本体用とLTC用に大別できる。

変圧器本体用は、部分放電センサ、超音波センサ、油中ガス自動分析装置、 $\tan\delta$ センサ、温度センサなどの構成である。

LTC用としては、LTC駆動軸トルク、駆動モータ電流2乗、切換時間、切換回数など各種センサの構成である。

センサの検出信号は、センサ側で信号の増幅処理や直流変換処理などの加工を行い、外来サージやノイズの影響を少なくする方式である。

また、各種適用センサは、図5に示すように、変圧器本体及びLTC操作機構などに非接触で取り付ける。

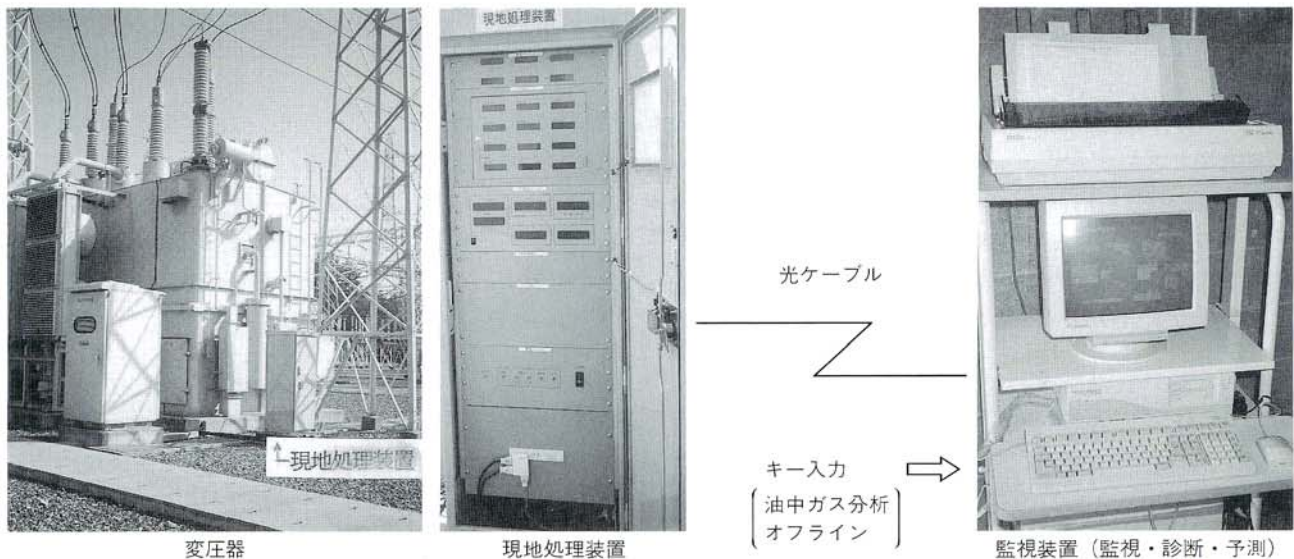


図4/変圧器予測保全装置の構成

Fig. 4/Composition of predictive maintenance equipment

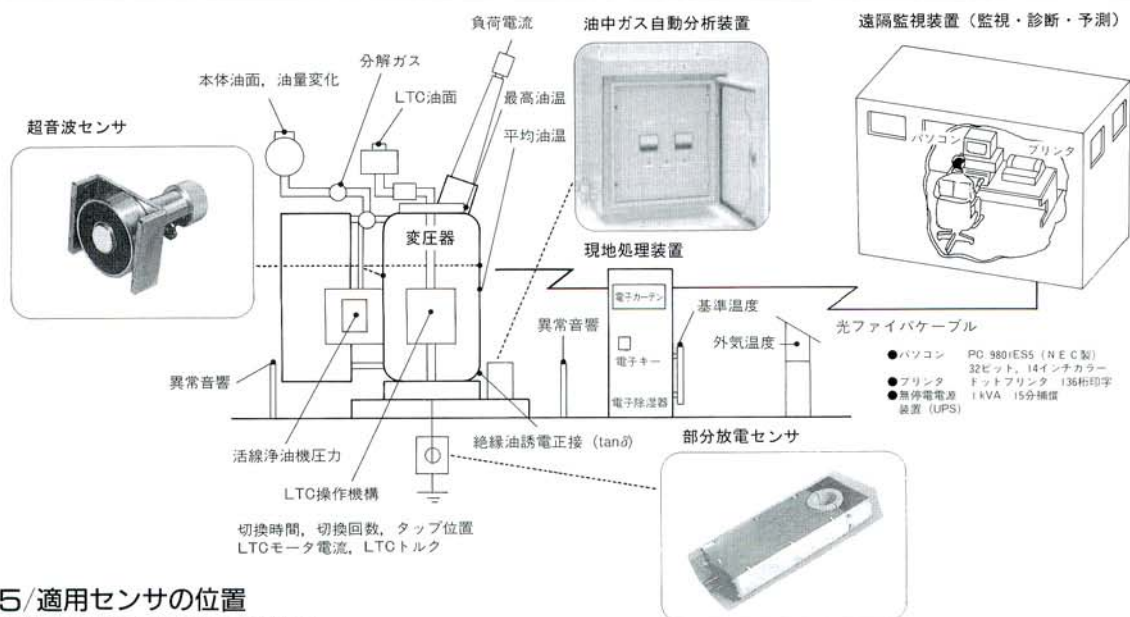


図5/適用センサの位置

Fig. 5/Position of sensors on transformer

## 3.2 現地処理装置

現地処理装置は、屋外仕様であるので、サージ・ノイズ対策を強化する。装置の電源入力回路はフィルタ、アレスタ、コンデンサなどを、信号入力回路はアレスタ、コンデンサを用いて侵入サージ・ノイズを低減する。

装置内では、強電回路と電子回路の分離、アースの分離配線など配線対策、入出力ケーブルの遮へい層及びフレーム・信号接地線の一点接地対策、収納箱の二重箱構造及び変圧器からのサージや交流電流遮断対策、フェライトシールドテープ、パイプなどのシールド材料対策などにより、サージ・ノイズを低減する。

上記の侵入サージ・ノイズ低減対策に加えて、信号入力回路は、信号絶縁変換器により絶縁し、装置内を保護する。センサからのすべての信号は信号絶縁変換器で1～5Vに変換し、更にA/D変換の後、編集・表示し、光通信で監視装置へデータを伝送する。

装置は、図6に示すように、測温表示ユニット、信号処理ユニット(中央処理装置を内蔵)、異常検出継電器ユニット(故障表示30F)、LTCユニット、電源ユニットの構成である。また、現地処理装置の正面窓に電子カーテンを、扉に電子キーを、内部除湿に電子除湿器などの電子機器を採用した。

図7に現地処理装置の回路構成を示す。

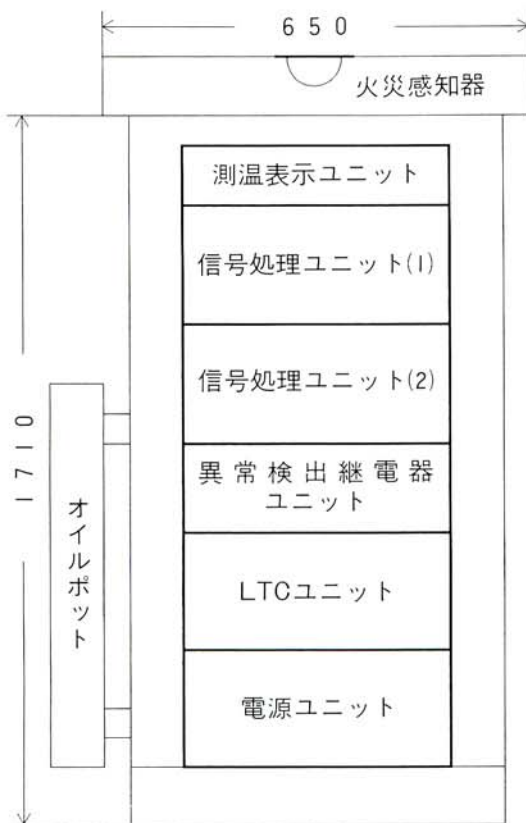


図6/現地処理装置内各ユニット

Fig. 6/Unit composition of on-site processor

## 3.3 監視装置

現地処理装置から受信したデータを図・表、グラフにして、カラーディスプレイに表示する。

この監視装置は、パソコン、プリンタ及び無停電電源装置(UPS)の構成である。

- (1) パソコン  
PC-9801ES5 (NEC製)  
32ビット, 14インチカラー, 2000文字対応  
記憶容量(RAM): 1.6Mバイト  
補助記憶装置: 3.5インチFD2台内蔵  
40Mバイトのハードディスク内蔵
- (2) プリンタ  
24ピン ドットプリンタ 136桁印字
- (3) 無停電電源装置  
1kVA, 15分補償

## 3.4 伝送路

部分放電センサ、超音波センサと現地処理装置の結合は、高周波信号のため、同軸ケーブルを用いる。

これら以外のセンサとの結合については、サージ・ノイズの影響を受けにくいツイストペアケーブルを用いる。現地処理装置とLR盤との結合は、現地処理装置内のフォトカプラで回路を分離して、サージ・ノイズを遮断する。また、電源入力線は、金属シールド付ケーブルを用いて、サージ・ノイズを低減する。

現地処理装置と監視装置との結合はノイズ対策のため光ファイバケーブルとし、その通信方式は、専用線使用のため調歩同期式で、上り下り同時通信の全二重方式である。

データ信号速度は、4800bpsとした。

## 4 データ処理機能と監視方法

### 4.1 変圧器本体

(1) 部分放電

① 部分放電センサ

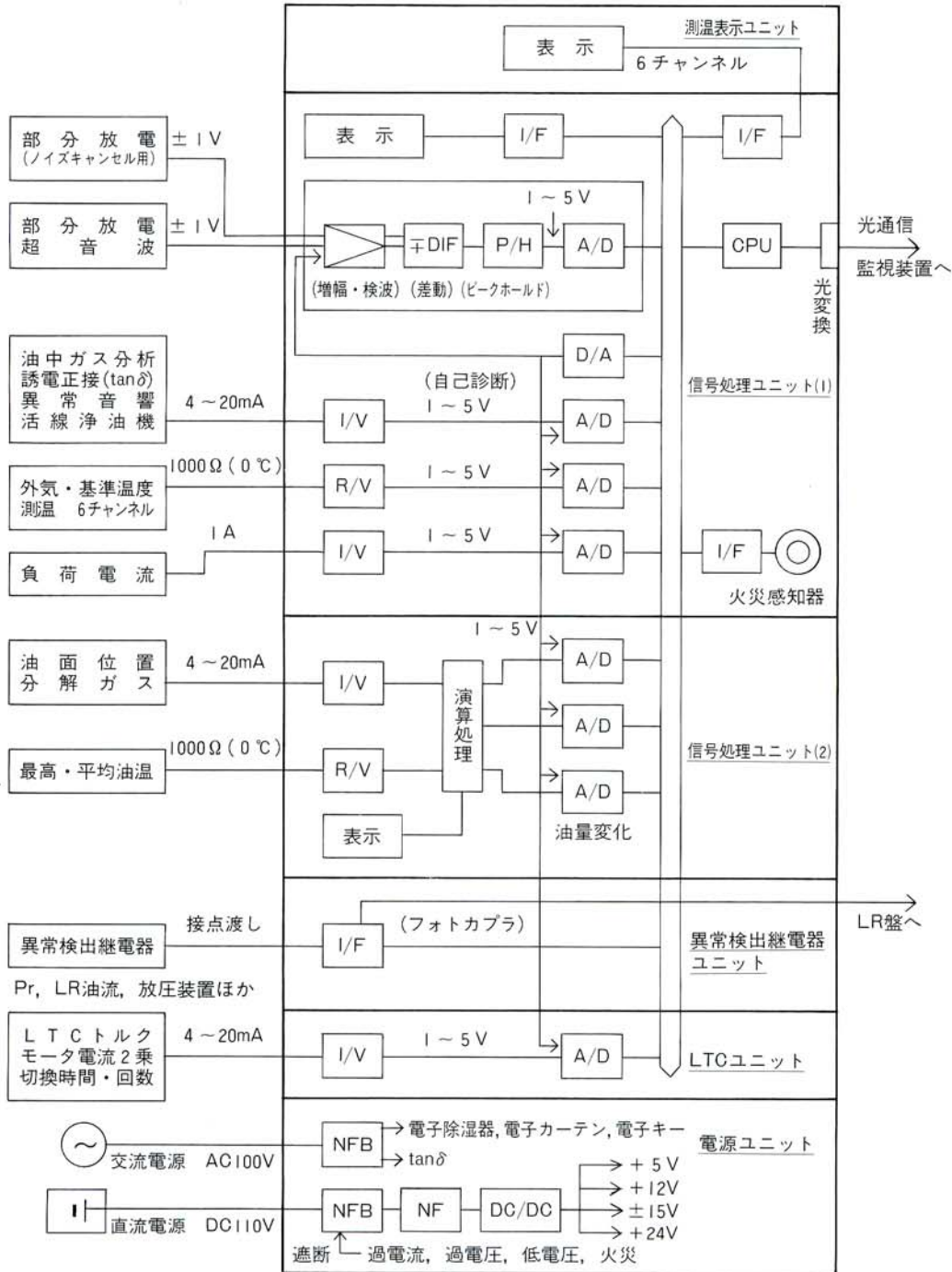
変圧器内部で部分放電が発生すると、急峻なパルス状の電流がタンクの接地線に流れる。

このタンク接地線に取り付けた同調周波数4.5MHzの分割式部分放電センサによりパルス電荷を検出する。

この部分放電センサは、フェライトコア(透磁率4000)にコイルを巻いた同調方式のものである。センサの同調周波数は、サイリスタ・コロナノイズや放送波などの定常ノイズの影響を少なくするため、4.5MHzを選定した。更に伝送路のノイズ対策として、現地直接前置増幅方式

センサ

## 現地処理装置 (信号変換・処理)



I/V : 電流-電圧変換  
 R/V : 抵抗-電圧変換  
 I/F : インターフェース  
 A/D : アナログ-デジタル変換  
 D/A : デジタル-アナログ変換

NFB : ノーヒューズブレーカ  
 NF : ノイズフィルタ  
 DC/DC : 直流-直流変換  
 CPU : 中央処理装置

図7/現地処理装置の回路構成

Fig. 7/Circuit composition of on-site processor

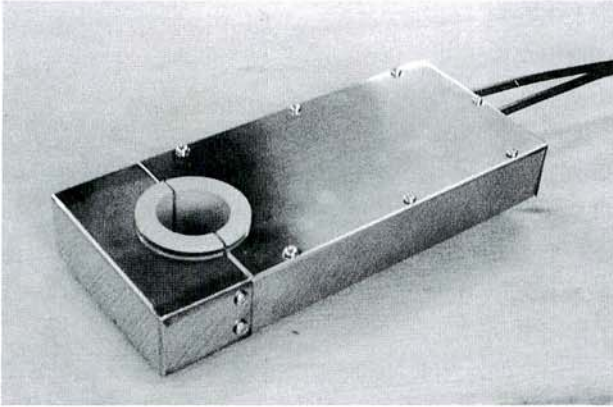


図8/部分放電センサの外観

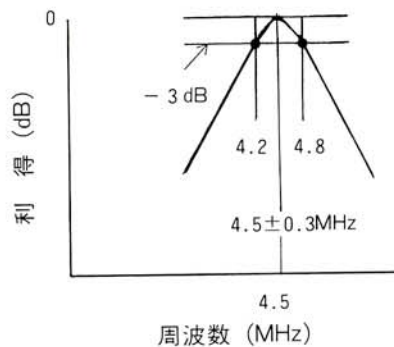
Fig. 8/Partial discharge sensor

を採用し、S/N比を向上した。また、検出コイルとは別に自己診断用コイルを同一コア上に設け、これに定時パルスを自動印加して自己診断する。

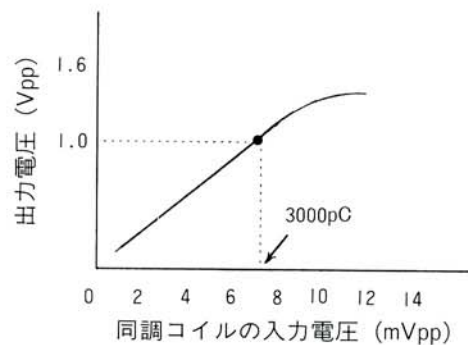
部分放電センサは諸特性試験により実用性を確認した。共振特性は $4.5\text{MHz} \pm 0.3\text{MHz}$  ( $-3\text{dB}$ )、入・出力特性は $3500\text{pC}$ まで直線、周波数・増幅特性は $4.5\text{MHz}$ で $43\text{dB}$ 、温度特性は $-20 \sim 60^\circ\text{C}$ で $\pm 5\%$ 以内であった。

図8に部分放電センサの外観を、図9に部分放電センサの特性を示す。

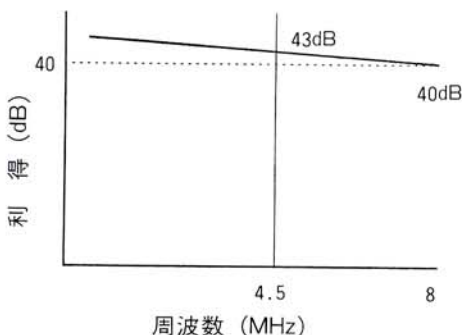
現地処理装置では、部分放電センサからの伝送波形を増幅→整流検波→差動処理→位相ゲート制御（ノイズ除



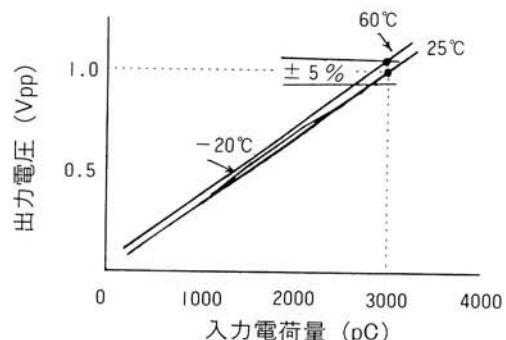
(a) 4.5MHzの共振特性



(b) 入・出力特性



(c) 周波数・増幅特性



(d) 温度特性

図9/部分放電センサの特性

Fig. 9/Characteristics of partial discharge sensor

去)→ピークホールド (AC 1 サイクル 16.7ms の最大値) → 30 秒間に 1 秒毎のデータ 30 個から最大値 3 個と最低値 3 個のデータ 6 個を不適切値として捨てて、24 個のデータを平均化処理する。

図 10 に部分放電の検出・処理方法を示す。

### ②超音波センサ

変圧器内部の部分放電の発生と同時に超音波が生じ、油中を伝播してタンク壁に達する。タンク壁に取り付けた共振周波数  $150\text{kHz}$  のマグネット吸着式の超音波センサにより振動波を検出して前置増幅する。この超音波センサは、圧電体にジルコン酸チタン酸鉛磁器 (PZT) を用いた機械的共振特性を有するものである。センサの周波数は機械的振動の影響を少なくするには高く、油中伝播減衰を避けるには低い方がよいため、共振周波数  $150\text{kHz}$  のアコースティックエミッション (AE) センサを採用した。

図 11 に超音波センサの外観を、図 12 に超音波の周波数特性を示す。

現地処理装置では、超音波センサからの伝送波形をバンドパスフィルタにより  $150\text{kHz}$  単一の周波数を選択し、増幅・整流検波の後、部分放電時の処理と同じように、差動回路からピークホールドを経て平均化処理する。

図 13 に超音波の検出・処理方法を示す。

### ③データサンプリング

a. 部分放電信号, 超音波信号ともに 30 秒のサンプリ

ング時間で平均化処理する。

b. 上記のサンプリング周期は任意に設定変更ができる。

c. 部分放電センサは、1日に1回定時パルスにより自己診断する。

④監視方法

a. 運転中変圧器の部分放電電荷量(最大3000pC)と超音波を、部分放電センサと超音波センサ(高・低圧2箇所)により、トレンド監視する。

b. 異常判定

部分放電電荷量及び超音波の有無及び増加傾向を監視し、部分放電電荷量1000pCと超音波有りを判定レベル

とする。

(2)油中ガス

①油中ガス自動分析装置

変圧器下部の排油弁から絶縁油をオイルポンプにより採油し、直接シリンダピストン方式で溶解ガスを抽出の後、再び変圧器上部に戻す。抽出ガスは二酸化すず(SnO<sub>2</sub>)を主成分とする半導体センサにより、水素(H<sub>2</sub>)及びメタン(CH<sub>4</sub>)の各成分0~500ppmの範囲を約15分で検出する。

この分析装置は、漏油検出、測定シーケンスの異常検出及びガスセンサの異常検出の自己異常検出機能を有し、異常を判別した場合は装置を停止する。

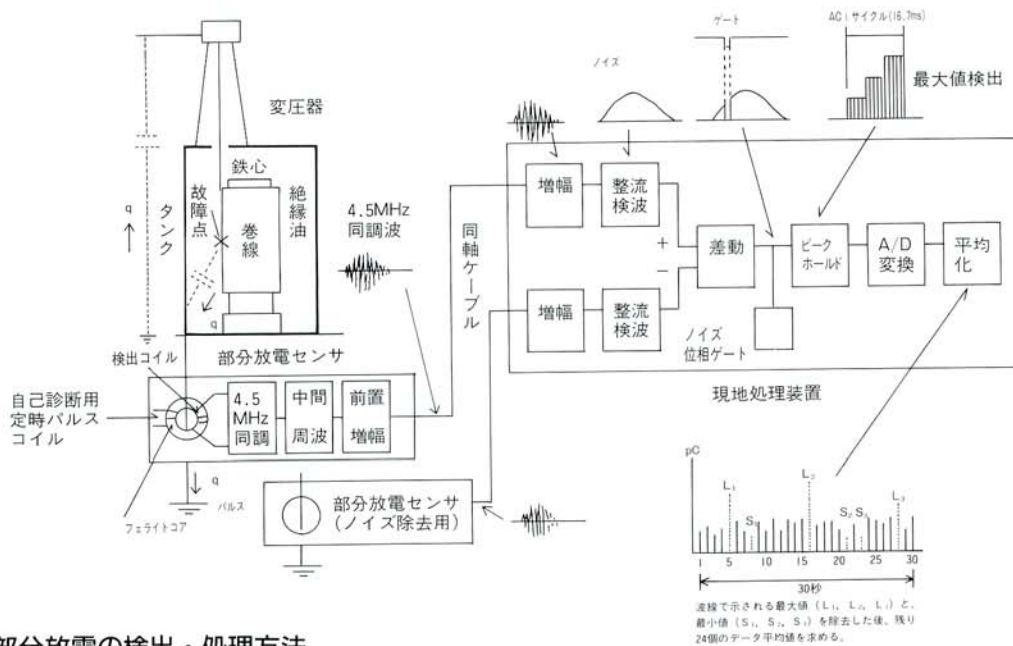


図10/部分放電の検出・処理方法

Fig. 10/Principle of partial discharge detection

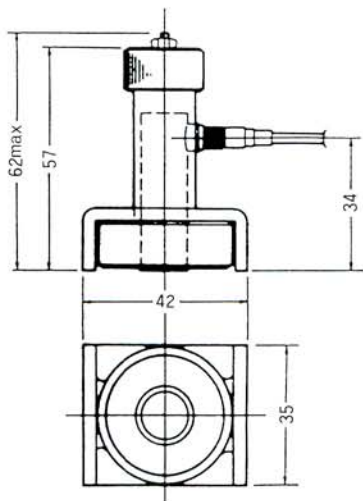


図11/超音波センサの外観

Fig. 11/Supersonic sensor

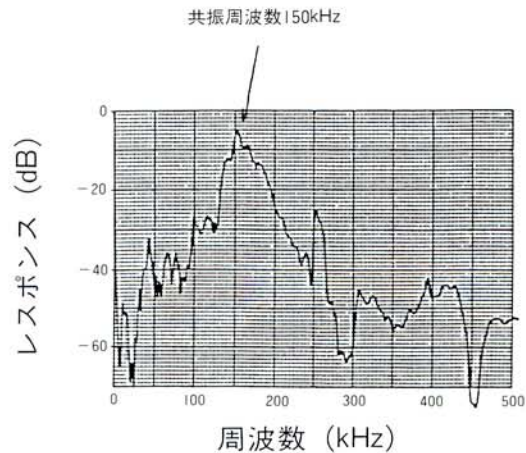


図12/超音波の周波数特性

Fig. 12/Frequency response of supersonic wave

図14に油中ガスの自動分析・処理方法を示す。

②データサンプリング

a. 通常は急増ガス増加率管理の周期に合わせて10日に1回測定する。このサンプリング周期は任意に設定変更ができる。

b. 上記とは別に必要の都度遠隔操作により、任意測定ができる。

③監視方法

a. 変圧器油中に溶存する水素ガス (H<sub>2</sub>)、メタンガス (CH<sub>4</sub>) のガス量を油中ガス自動分析装置(最大 500ppm)によりトレンド監視する。

b. 異常判定

2成分のガス量及びガス増加傾向を監視し、水素ガス (H<sub>2</sub>) は変圧器油保存方式により密閉形で200ppm、開放形で150ppm、メタンガス (CH<sub>4</sub>) は50ppmを判定レベルとする。

(3)絶縁油 tanδ

① tanδ センサ

絶縁油は、不純物や油自体の解離イオンなどによる導電損失の劣化現象が生じると tanδ 値が変化する。

tanδ センサは、図15に示すように、変圧器排油口に取付けられ、電極間隔1mm、電極面積100cm<sup>2</sup>の円筒形電極から成っている。

この電極を演算処理装置の測定回路に導入する。図16

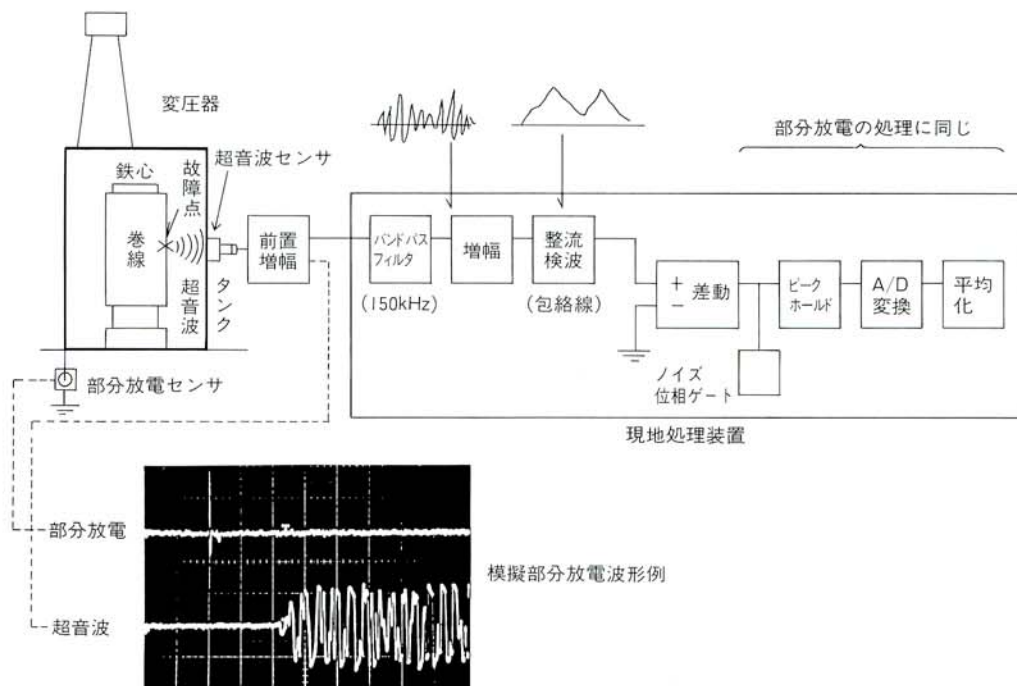


図13/超音波の検出・処理方法

Fig. 13/Principle of supersonic detection

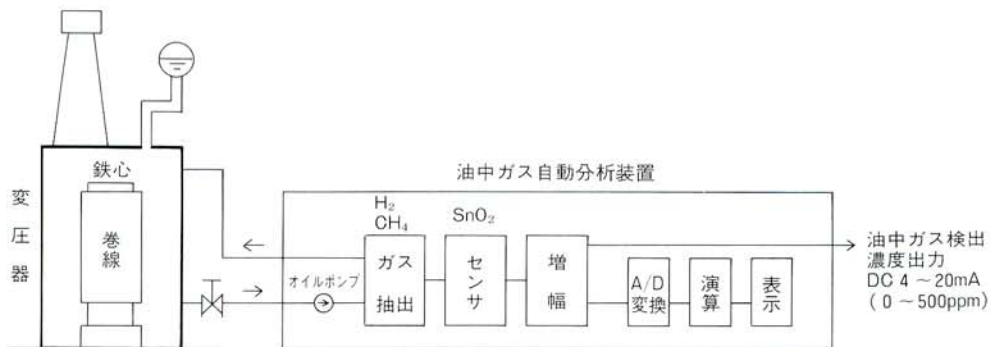


図14/油中ガスの自動分析・処理方法

Fig. 14/Principle of automatic gas analysis

のベクトルに示すように、誘電体電極回路とは別の電流回路で同じ大きさの位相が $180^\circ$ 異なった有効分と無効分電流との平衡条件より $\tan\delta$ を検出する。この検出信号は現地処理装置の信号絶縁変換器で $1\sim 5V$ に変換の後、A/D変換する。

②起動方式

油中ガス分析装置動作終了( $\tan\delta$ センサ電極間絶縁油の入れ替え)と絶縁油設定温度( $0\sim 100^\circ C$ を $10^\circ C$ ステップ任意設定)の条件で自己起動する。

③データサンプリング

油中ガス自動分析装置の作動と合わせて測定し、動作ごとのデータとする。

④監視方法

a. 絶縁油の $\tan\delta$ 値( $0.01\sim 1\%$ )を $\tan\delta$ センサによりトレンド監視する。

b. 異常判定

絶縁油の $\tan\delta$ 値及び増加傾向を監視し、 $\tan\delta$ は変圧器油温 $30^\circ C$ で $0.05\%$ (実器に合わせる)を判定レベルと

する。

(4)温度

①負荷電流

a. 負荷電流センサ

変圧器の負荷電流は、油温、巻線温度などと相関性がある。この負荷電流を変圧器二次 $5A$ 回路に取り付けた負荷電流センサ(補助変流器)から $0\sim 1A$ の信号を検出する。この $1A$ 回路は電力系統短絡故障時の変圧器二次回路から装置への流入電流を低減し装置内の回路を保護するとともに、電子回路への誘導障害の低減を図る。

b. データサンプリング

1分ごとに測定する。

c. 監視方法

変圧器負荷電流の変動状況を負荷電流センサによりトレンド監視する。

d. 要注意判定

変圧器負荷電流が定格値を超えた場合を要注意レベ

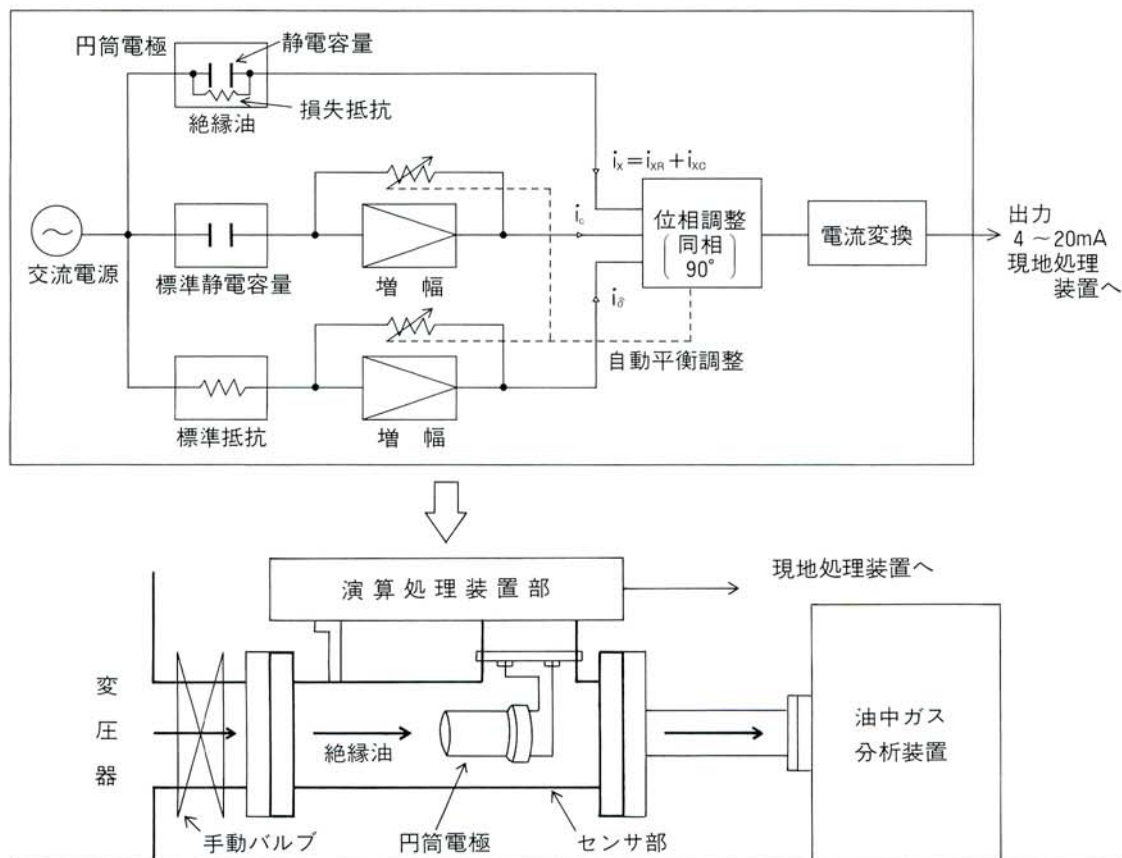


図15/絶縁油 $\tan\delta$ の検出・処理方法

Fig. 15/Principle of  $\tan\delta$  measurement

ルとする。

②温度

a. 温度センサ

温度センサは、セラミック基板の上に白金を薄膜蒸着した 1000 Ω (0℃) 素子である。

この素子は、現行の 100 Ω 素子と比べて抵抗変化率が大きくなり感度がよい、接続電線の影響が小さい、温度範囲が -200 ~ 260℃ と広く直線性にも優れている。また、白金の薄膜化により長期的に安定で衝撃や振動にも強いなど多くの特長を有している。

基準温度は、天候の急激な変化に対応するため、10ℓ のオイルポット油温とした。

図 17 に 1000 Ω 温度センサの構造を示す。

現地処理装置では、最高油温、平均油温、基準温度の各センサよりの抵抗変化を抵抗温度絶縁変換器で 1 ~ 5V に変換の後、A/D 変換する。

b. データサンプリング

測定値：1分ごとのデータを 30 個測定し、これを算術平均して 30 分ごとのデータとする。

計算値：30 分間の 2 乗平均値の負荷電流から負荷率を計算し、30 分ごとのデータとする。

2 乗平均法とは、負荷変化のある周期中における平均発熱量と等しい発熱量を生じる一定連続負荷に等価として取り扱う方法をいう。

c. 監視方法

(a) 運転変圧器の最高油温 (変圧器上面位置のダイヤル温度計センサと同じ位置) 及び平均油温を温度センサによりトレンド監視する。

負荷率と基準温度より平均油温を計算してトレンド監視する。

(b) 要注意判定

計算平均油温に +5℃ の上限値を設定し、測定値がこの値を超えた場合を要注意レベルとする。

③巻線温度 (算定)

a. データサンプリング

測定値：1分ごとの平均油温データを 10 個測定し、これを算術平均して 10 分ごとのデータとする。

計算値：10 分間の 2 乗平均値の負荷電流から負荷率を

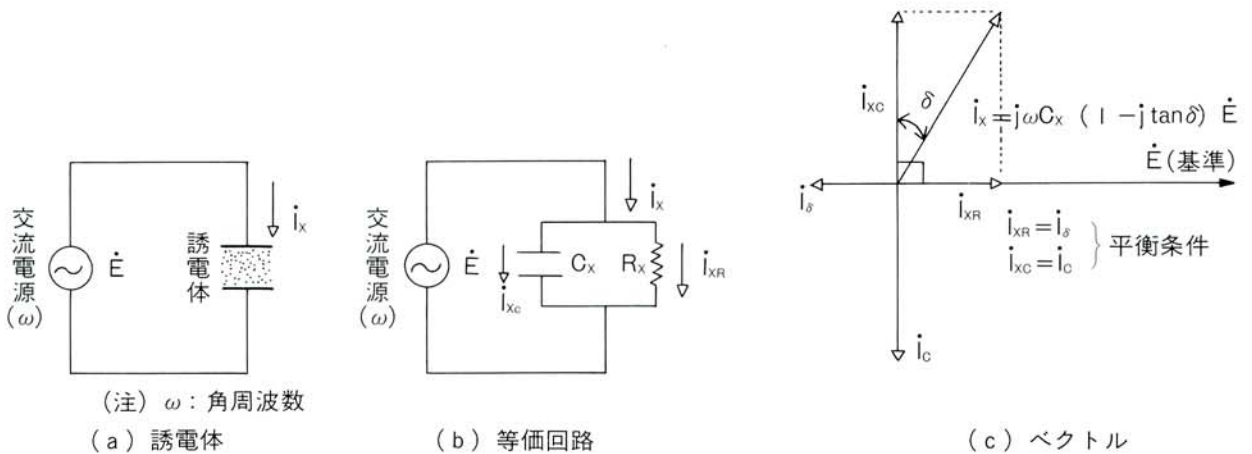


図 16/tanδ 測定平衡ベクトル

Fig. 16/Equivalent circuit and vector for tanδ measurement

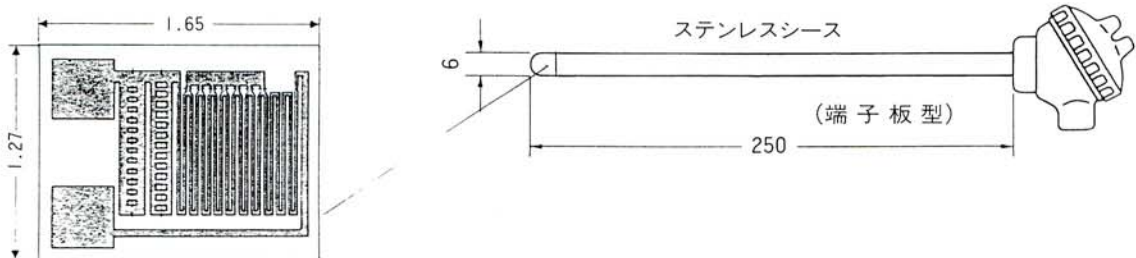


図 17/1000Ω温度センサの構造

Fig. 17/Construction of 1000Ω temperature sensor

計算し、10分ごとのデータとする。

b. 監視方法

(a) 負荷率と平均油温から巻線温度を計算してトレンド監視する。

(b) 要注意判定

計算巻線温度が95℃を超えた場合を要注意レベルとする。

(5)油面・油漏れなど

① 油面・油漏れ

油面・油量とコンサベータ隔膜変位量との関係を検出する。また、油漏れは、検出油量を20℃値に換算して変化分を検出する。

② 分解ガス（ガス検出）

変圧器内部で発生する分解ガスの蓄積量を検出する。

③ 異常音響

冷却装置や配管ゆるみなどからの異常音響の平常時との変化量を検出する。

表1に油面・油漏れなどのデータ処理を示す。

表1/油面・油漏れなどのデータ処理

Tab. 1/Data processing of oil level,oil leak,etc.

| 監視項目           | 適用センサ   | 信号処理  | データサンプリング                      | 監視方法   |
|----------------|---|---|--------------------------------|--|
| 油面<br>油漏れ      | 超音波式<br>・油面位置<br>超音波（200kHz）の<br>反射波の時間差検出<br>・油漏れ<br>20℃換算油量の変化<br>分検出 | 入力<br>4～20mA<br>↓<br>絶縁変換<br>1～5V<br>↓<br>A/D変換 | 10秒ごと<br>1分間6個<br>の算術平均<br>データ | トレンド<br>・油面位置<br>0～10目盛<br>判定レベル0.5<br>・油漏れ<br>0～20ℓ<br>判定レベル10ℓ |
| 分解ガス<br>（ガス検出） | ガスフロート差動トランス式<br>ガス蓄積の差動トランス（20kHz）インダクタンス変化検出                          | 入力<br>4～20mA<br>↓<br>絶縁変換<br>1～5V<br>↓<br>A/D変換 | 1分ごとの<br>測定データ                 | トレンド<br>200～560cc<br>判定レベル450cc                                  |
| 異常音響           | 静電マイクロフォン式<br>平常記憶音響と異常音響（45Hz～1kHz, 1kHz～10kHzの大きい方）を比較検出              | 入力<br>4～20mA<br>↓<br>絶縁変換<br>1～5V<br>↓<br>A/D変換 | 1分ごとの<br>測定データ                 | トレンド<br>0～30dB<br>判定レベル 10dB                                     |

## 4.2 LTC

(1)LTC駆動軸トルク

①トルクセンサ

変圧器の負荷時タップ切換時に機構渋滞や破損空転などによる異常現象が生じると、致命的な故障に進展する。

このような場合は、LTC駆動軸トルクが変化するので、図18に示すLTC操作箱内のLTC駆動軸のトルク量を、その駆動軸に直結した振り磁わい式トルクセンサで検出する。

このトルクセンサは、図19に示すように、強磁性体の

磁わい管の軸方向に磁化コイルを巻き、これに4kHzの矩形波を電磁カップリングを通して交番磁化して円周磁界を発生する。

この状態で回転軸に振り力（トルク）が加わると、振り力に比例した磁化力が磁わい管の縦軸方向に生じる。これを磁わい管外周に巻いた検出コイルでピックアップし、別の電磁カップリングでトルク信号を外部に取り出す。

トルク信号は、図19に示すように、LTC操作箱内の演算処理装置でトルク量0～100N・mの範囲を4～20

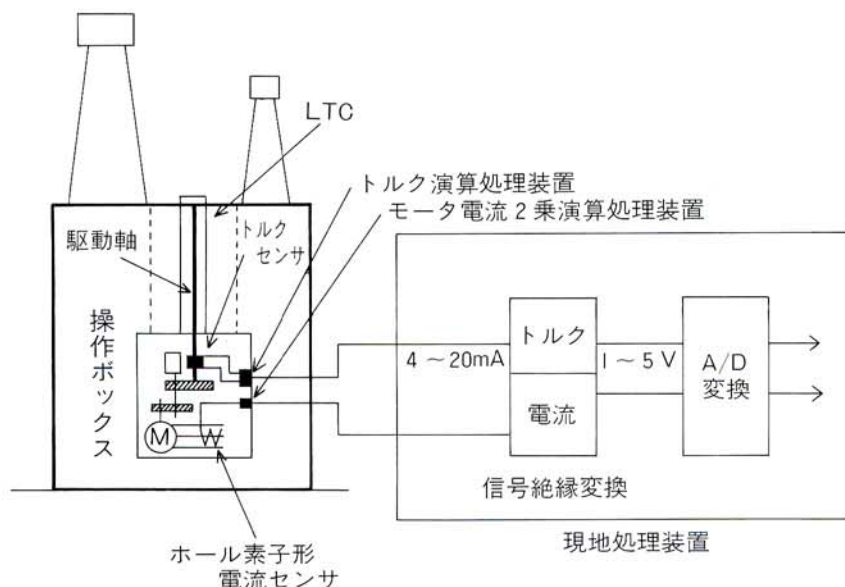


図18/LTC駆動軸トルクセンサの構成

Fig. 18/Composition of torque sensor for LTC driving shaft

mA の直線特性で出力する。現地処理装置では信号絶縁変換器で1～5Vに変換の後、A/D変換する。

②データサンプリング

- a. LTC 動作ごとのトルクのピーク値をデータとする。
- b. 1日の測定値を算術平均して1日のデータとする。

③監視方法

- a. LTC 動作時のモータ減速後のトルクをトレンド監視する。
- b. 異常判定  
トルク量0～100N・m及び変化傾向を監視し、管理値53N・mを判定レベルとする。

(2) LTC モータ電流 2 乗

①モータ電流 2 乗センサ

LTC 駆動モータ (誘導電動機) のトルクは、モータ入力電流の 2 乗に比例する。図 20 に示すように、LTC モータ電流をホール素子形電流センサで検出して 2 乗演算し、モータ電流  $i$  が 0～2.4A の範囲を  $4(1+i^2)$  mA で出力する。

また、起動時の突入電流を避けるため、0～1秒 (可変) の遅延時間をおいて検出を開始する。

現地処理装置では、信号絶縁変換器で1～5Vに変換の後、A/D変換する。

②データサンプリング

- a. LTC 動作ごとのモータ電流 2 乗のピーク値をデータとする。

タとする。

- b. 1日の測定値を算術平均して1日のデータとする。

③監視方法

- a. LTC 作動時のモータ電流 2 乗値をトレンド監視する。
- b. 異常判定  
モータ電流 2 乗値 0～5.7A (電流 0～2.4A) 及び変化傾向を監視し、2 乗値 3.2A (実器に合わせる) を判定レベルとする。

(3) LTC 切換時間・切換回数

①LTC 切換時間・切換回数センサ

LTC 切換時間は、動作期間をタイマで積算し、0～10秒 (可変) を 4～20mA の直線特性で出力する。

LTC 切換回数は、動作期間 0～10秒 (可変) を 12mA 一定で出力する。

これらの出力は、現地処理装置で信号絶縁変換器により1～5Vに変換の後、A/D変換する。

②データサンプリング

- a. LTC 切換ごとの時間をデータとする。また、1日の測定値を算術平均して1日のデータとする。
- b. LTC 切換ごとの回数をデータとする。

③監視方法

LTC 切換時間及び1日分の切換回数をトレンド監視する。

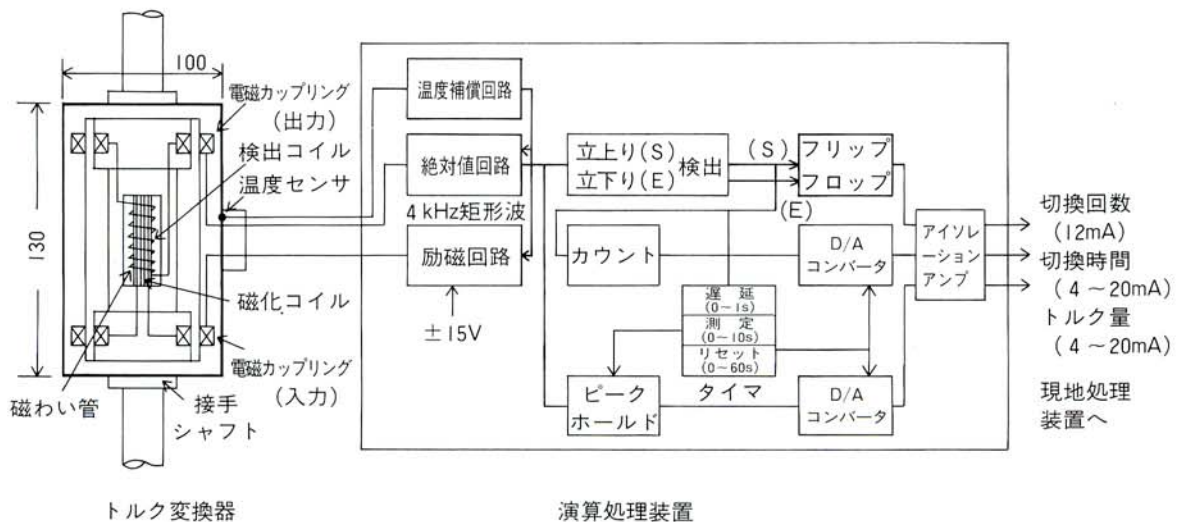


図19/LTC駆動軸トルクの検出・処理方法

Fig. 19/Principle of torque detection

#### ④異常判定

a. 切換時間平均値  $T_L$ 秒  $\alpha\%$ を監視し、この値の過不足を判定レベルとする。

(注)切換時間平均値  $T_L$ 秒  $\alpha\%$ は、LTCの奇数・偶数タップなどで異なり、実器に合わせる。

b. 切換回数は50回/日を判定レベルとする。

#### (4) LTC 油面位置

変圧器本体用と同じである。油漏れによる油量変化分検出は設けていない。

#### (5)活線浄油機圧力

##### ①圧力センサ

活線浄油機の活性アルミナとフィルタを有する吸着ろ過槽の目づまりによるフィルタの交換時期を予告するため、浄油機運転中の圧力を半導体圧力センサで検出し、圧力0～1MPaの範囲を4～20mAの直線特性で出力する。この信号を現地処理装置の信号絶縁変換器で1～5Vに変換の後、A/D変換する。

##### ②データサンプリング

運転中、1分ごとの測定値の算術平均値をデータとする。

##### ③監視方法

運転中圧力の平均値をトレンド監視する。

##### ④異常判定

監視圧力0.4MPaを判定レベルとする。

## 5 監視装置の機能

### 5.1 システムメニューの設定

監視・診断・予測を円滑に遂行するため、図21に示すように、システムメニューは、10種類設定した。このシステムメニューは、各種センサ情報によるトレンド主体のオンラインメニュー、油中ガス分析データのキーボード入力によるオフラインメニュー及び変圧器保護継電器の動作状況、現地処理装置の自己診断、トレンド周期設定変更などの保守メニューの3つの機能に分類した。

また、トレンドメニュー、監視値設定メニュー、油中ガス・オフライン及び保守メニューは個別メニューを設けて監視の細目化を図った。

### 5.2 画面表示機能

#### (1)画面の表示レイアウト

画面の左上に「変圧器予測保全装置」のタイトルを、右上に年月日時分を、これら下段の中央に図・表、グラフなどの名称をそれぞれ表示する。

画面の右側は、メニュータイトル、トレンド画面種別表示、記録の拡大・縮小、前項目(前日)、後項目(後日)、1日、1週、前へ、次へ、ページ換え、測定、診断など

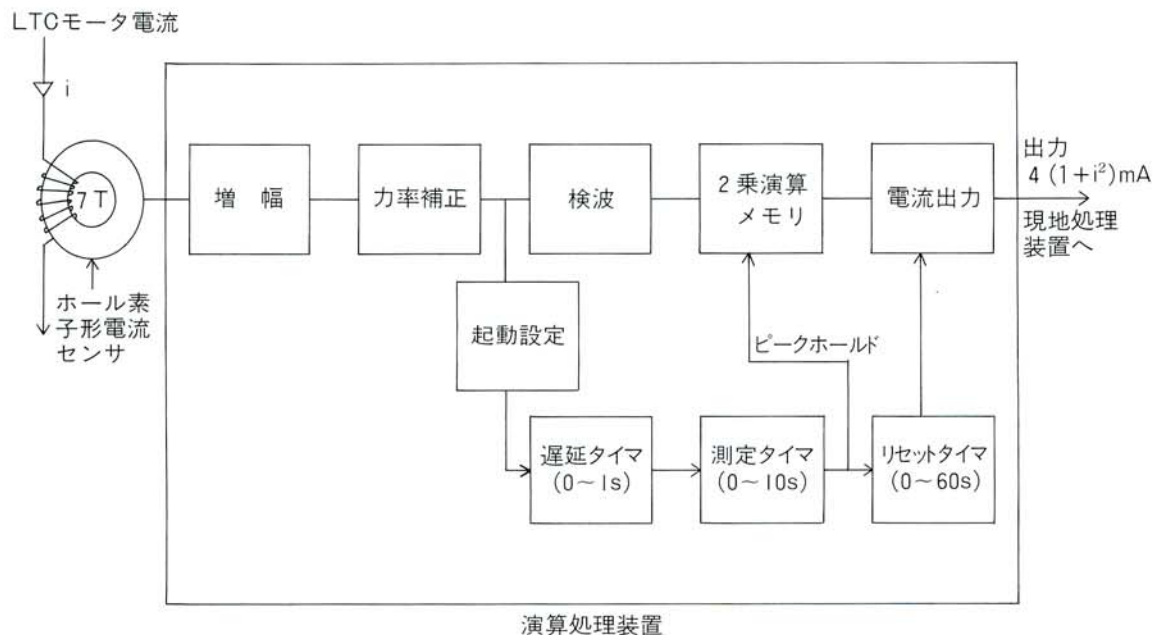


図20/LTCモータ電流2乗の検出・処理方法

Fig. 20/Principle of current square detection for LTC motor

画面を自由自在に操作するための呼び出し表示である。

図・表やグラフなどの表示画面は、呼び出し表示の左側に殆どの画面を占めるレイアウトである。

(2)画面の表示・消滅機能

表示画面は操作なし5分後に自動消滅し、CRTを保護する。消滅画面は再びマウス移動により表示する。

(3)異常発生時の画面表示機能

測定データ監視値を超えると、センサ位置や諸量の入った総合監視画面を自動表示し、異常該当センサを赤でフリッカ表示する。

また、自己診断異常時は自動的に自己診断画面に変わる。

(4)組み合わせ画面表示機能

検出データ4つを自由に組み合わせ、異常判別の確度向上を図る。

(5)トレンド監視値設定の画面表示機能

オンラインメニューの監視値設定メニューの個別画面では、監視値レベルの時系列設定表示が自由に行える。例えば、部分放電パルス検出感度の向上策として、ノイズの小さい深夜帯は、ノイズの大きい昼間帯より設定レベルを下げて監視できる。

(6)画面スケールの拡大・縮小機能

オンラインのトレンド画面は、カーソルによりスケールの拡大・縮小が自在に行える。

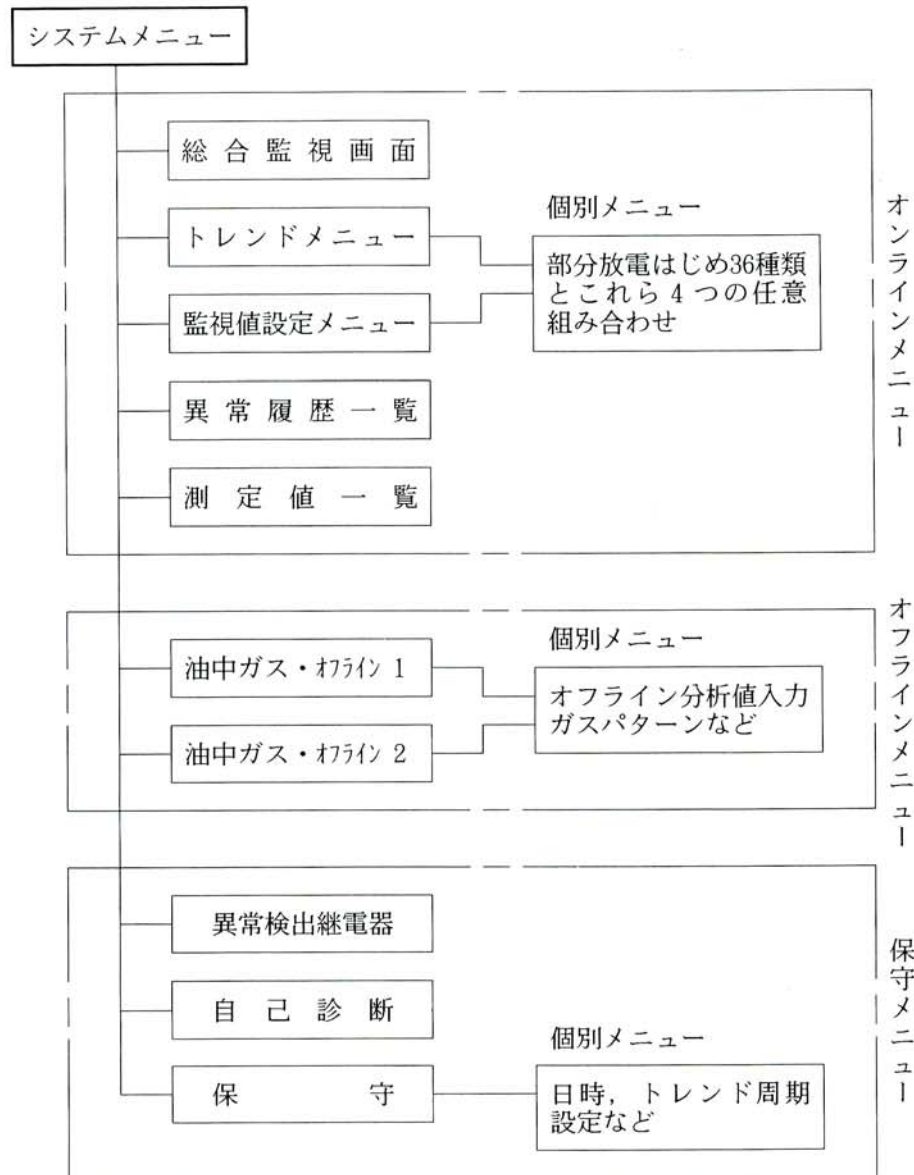


図21/システムメニュー設定

Fig. 21/Setting of system menu

## 5.3 操作機能

### (1)基本操作

基本的にはマウス操作である。項目入力や数値入力などはキーボード操作で実行する。

### (2)画面コピー

キーボードの〔COPY〕キー操作で、その時の表示画面をプリントする。

### (3)現地処理装置の遠隔遮断

キーボードの〔STOP〕キー操作で、現地処理装置を遠隔遮断するとともに、データを保存する。

### (4)油中ガス分析装置の任意起動

測定値一覧画面上の「測定」をクリックして油中ガス分析装置を任意起動できる。

## 6 監視・診断・予測内容

総合監視画面、トレンドメニュー、監視値設定メニュー、異常履歴一覧、測定値一覧によりオンラインで変圧器の運転状態を監視し、異常状態を診断・予測する。

これらオンラインセンサ以外の変圧器保護用継電器の動作状況を監視し、異常の判定要素とする。

また、日時、トレンド周期設定、センサ入力範囲などの保守ガイダンスを用意している。

## 6.1 オンライン監視・診断・予測

### (1)総合監視

通常はマウス操作で測定データを自由に監視できる。

検出データが監視値を超えると、総合監視画面の該当センサを赤でフリッカ表示するとともに、画面をハードコピーする。更に詳細については、個別トレンドメニューや異常履歴一覧などを展開して異常内容を把握する。

また、自己診断異常時は自動的に自己診断画面に移動して、異常該当の部分を実線でフリッカ表示する。

図22に総合監視画面の例を示す。

### (2)トレンド診断・予測

各種センサ情報により変圧器本体及びLTCの運転状態を監視し、各監視項目ごとに最新データから異常に達する時期を自動的に予測する。

変圧器本体の絶縁性能を部分放電、超音波、油中ガス分析、絶縁油  $\tan\delta$  などの検出データにより監視し、異常有無の判定とその異常に達する時期を最小2乗法回帰直線で予測する。

温度性能は、絶縁性能と相関性があり、最高・平均油温、基準温度、負荷電流をトレンド監視する。

これらの測定データを用いて油温や巻線温度を算定し、異常の有無を判定する。

変圧器本体とLTCの油面及び変圧器本体の油量変化分を監視し、油漏れを予測する。

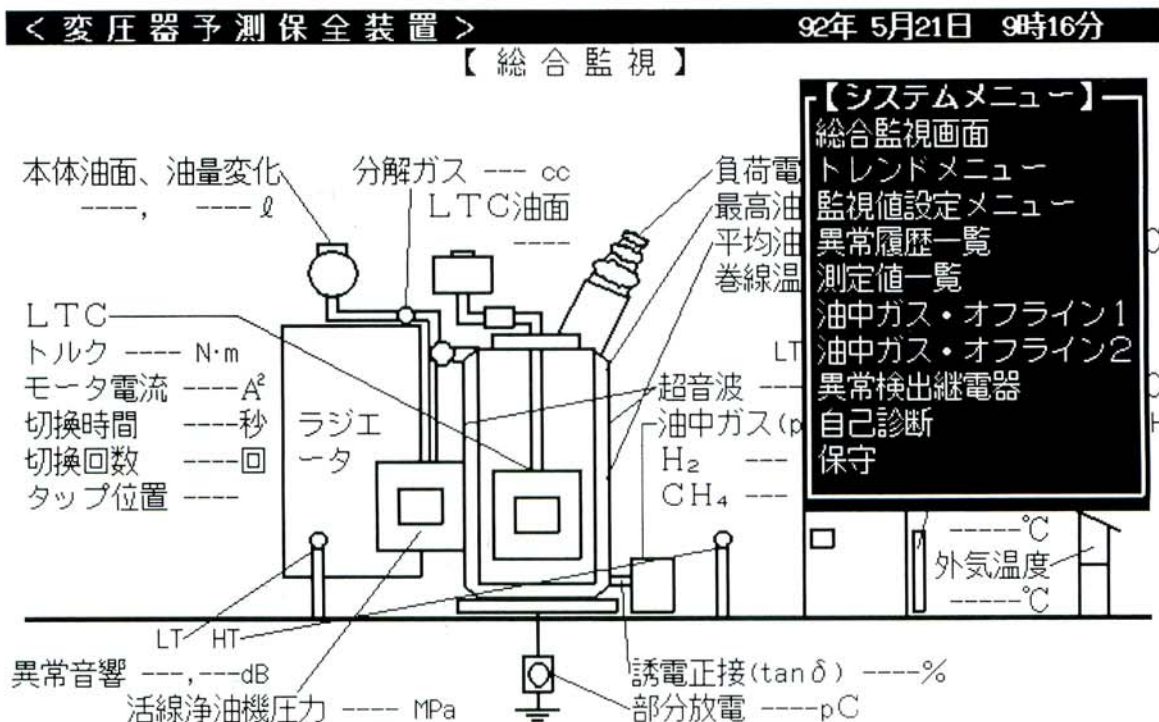


図22/総合監視画面の例

Fig. 22/An example of display for total inspection

LTCの管理については、駆動軸トルク、駆動モータ電流2乗、切換時間、切換回数をトレンド監視し、LTC切換機構や操作機構などの不具合を早期発見してタップ渋滞を予測する。

LTC切換回数のトレンド監視から切換回数の増加傾向を把握して点検に達する時期を予測する。この予測は、LTCの点検時期が前もって計画でき、点検工程を定めるうえで重要である。

活線浄油機の管理では、フィルタの目づまりをトレンド監視し、異常有無の判定とその異常に達する時期を予測する。

また、変圧器本体及び付属装置からの異常音響変化量をトレンド監視し、異常の有無を判定する。

図23にトレンドメニューを、図24に4トレンドの組み合わせ例を示す。

< 変圧器予測保全装置 >
92年 5月21日 9時15分

【トレンドメニュー】

システムメニュー

|                                 |               |                  |
|---------------------------------|---------------|------------------|
| 1. 部分放電                         | 13. 外気温度      | 25. LTCトルク       |
| 2. 超音波 (高圧)                     | 14. 基準温度      | 26. LTCモータ電流     |
| 3. 超音波 (低圧)                     | 15. 平均油温      | 27. LTC切換時間      |
| 4. 油中ガス (水素)                    | 16. 最高油温      | 28. LTC切換回数      |
| 5. 油中ガス (メタン)                   | 17. 巻線温度      | 29. タップ位置        |
| 6. 本体油面                         | 18. 装置内温度     | 30. LTC点検時期      |
| 7. 本体油量変化分                      | 19. 装置内測温 CH1 | 31. 平均LTCモータ電流   |
| 8. LTC油面                        | 20. 装置内測温 CH2 | 32. 平均LTCトルク     |
| 9. 分解ガス (ガス検出)                  | 21. 装置内測温 CH3 | 33. 平均LTC切換時間    |
| 10. 異常音響 (高圧)                   | 22. 装置内測温 CH4 | 34. 誘電正接 (tan δ) |
| 11. 異常音響 (低圧)                   | 23. 装置内測温 CH5 | 35. 活線浄油機        |
| 12. 負荷電流                        | 24. 装置内湿度     | 36. 計算平均油温       |
| 37.                             |               |                  |
| 38.                             |               |                  |
| 39. 部分放電 超音波 (高圧) 超音波 (低圧) 最高油温 |               |                  |

グラフ表示

図23/トレンドメニュー

Fig. 23/Trend menu

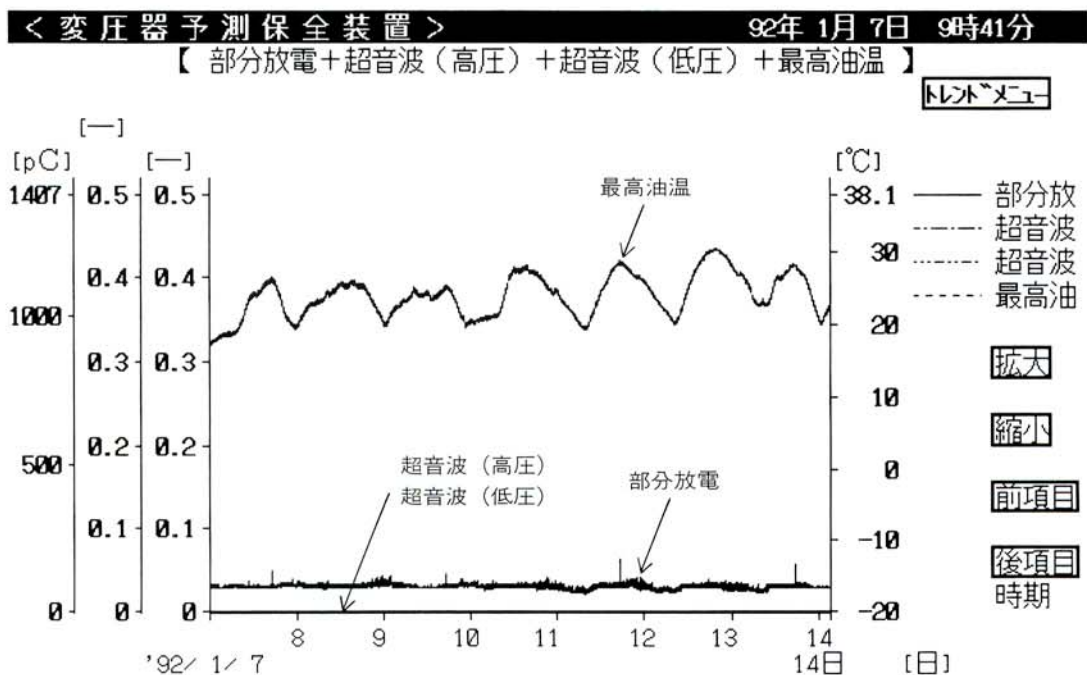


図24/トレンドの組み合わせ例

Fig. 24/An example of combination of several trends

## 6.2 油中ガスオフライン監視・診断・予測

現地採油の油中ガス分析値9成分（H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>）をキーボード入力する。この入力値に基づいて、トレンド、ガスパターン、組成比、特定ガスなどの個別メニューにより診断を実行し、異常有無の判定とその異常時期を予測する。

図25に油中ガスオフライン診断・予測内容を示す。

運転中変圧器の例では、図26に示すように、ガスパターン診断において、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>が増加傾向にある。このC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>は特定ガス診断で許容値を超えている。

組成比診断では、高エネルギーアーク放電現象であり、このアーク放電は特定ガス診断によりCOが存在しているので、絶縁物を介在しているものと考えられる。

以上の診断結果から異常と判定し、調査や精密試験が必要である。

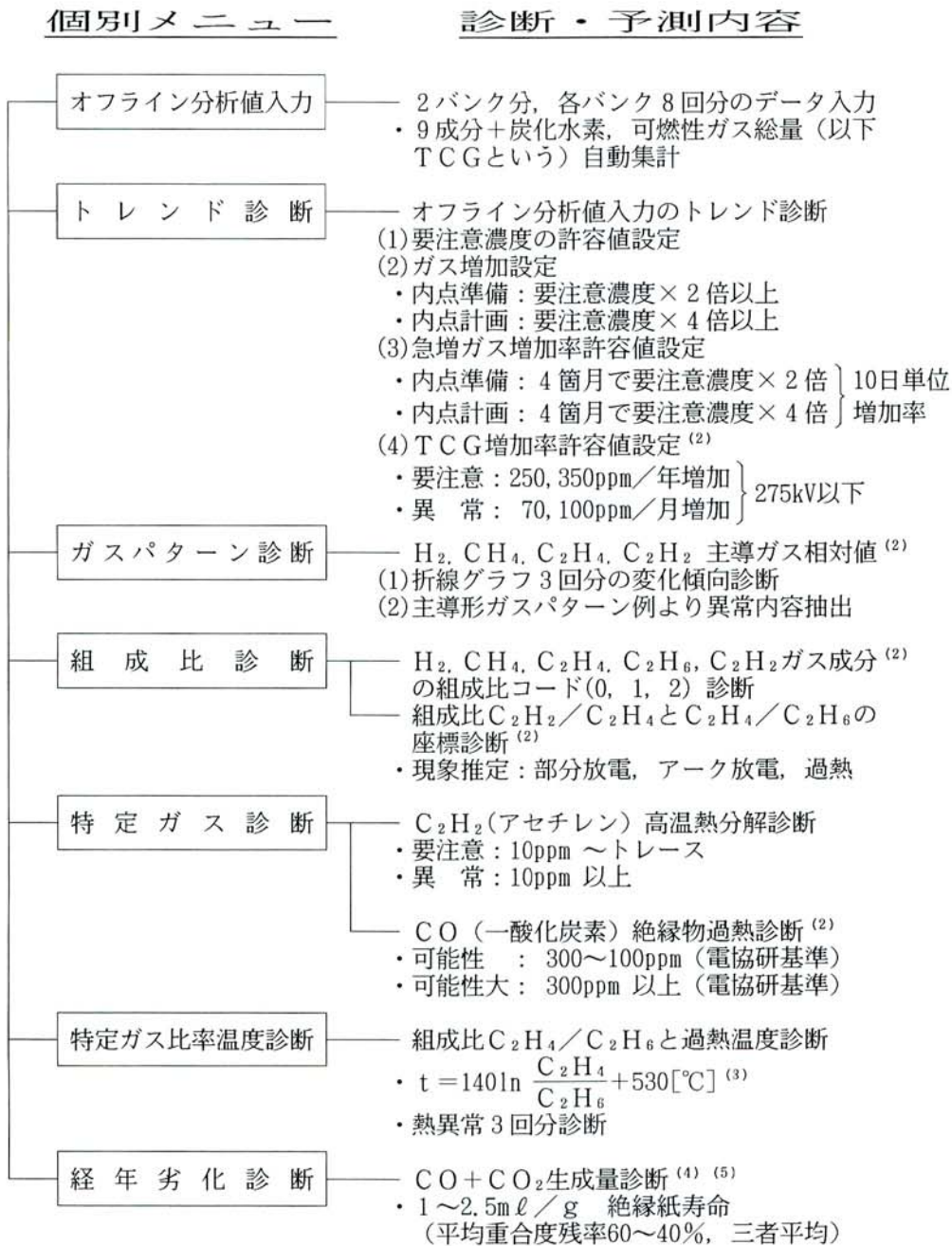


図25/油中ガスオフラインの診断・予測内容

Fig. 25/Off-line diagnosis and prediction by gas analysis

## 6.3 保守ガイダンス

### (1)異常検出継電器

変圧器本体、LTCは、衝撃圧力（Pr）、放圧装置、冷却器異常、LR油流などの各継電器により異常を検出し、LR盤に故障表示（30F）している。これを監視装置に取り組み継電器の動作状況をCRTに表示し、診断・予測との相関性を把握する。

### (2)現地処理装置の自己診断及び保護

D/Aボードのアナログ出力を各信号処理ボードに入力し、その出力を比較して自己診断する。

また、直流電源回路の過電圧、過電流、低電圧時には電源を切って保護する。火災発生時にも電源を切って火災進行を防止する。

### (3)保守メニュー

日時変更、トレンド周期設定、センサ入力範囲設定などに関する保守用の個別メニューを設けて診断・予測をガイダンスする。

## 7 試験

### 7.1 基本性能・機能試験

本装置は、センサ、現地処理装置、監視装置の構造・点検、これらの絶縁抵抗、交流・インパルス耐電圧試験などを実施し所定の判定基準を確認した。

< 変圧器予測保全装置 > 92年 1月 7日 10時30分

【 オフライン分析値入力 】

変電所 No. バンク

製造年月 87年 2月

製番

型式

製造者

定 格 KV

油 量 0 l

絶縁物総量 0 Kg

油劣化防止 式

単 位 ppm

| 分析ガス                                   | 基準値例 |     | '87  |      |      | '88 |   |   | '91 |   |   |
|--|------|-----|------|------|------|-----|---|---|-----|---|---|
|  | 開放   | 密閉  | 7    | 9    | 8    | 7   | 9 | 8 | 7   | 9 | 8 |
| 水素 (H <sub>2</sub> )                   | 0    | 200 | 11   | 60   | 110  |     |   |   |     |   |   |
| メタン (CH <sub>4</sub> )                 | 0    | 50  | 1    | 11   | 33   |     |   |   |     |   |   |
| エチレン (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )  | 0    | 70  | 0    | 10   | 22   |     |   |   |     |   |   |
| エタン (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )   | 0    | 0   | 0    | 2    | 3    |     |   |   |     |   |   |
| アセチレン (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | 0    | 10  | 0    | 0    | 13   |     |   |   |     |   |   |
| 一酸化炭素 (CO)                             | 0    | 300 | 33   | 88   | 175  |     |   |   |     |   |   |
| 二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )               | 0    | 0   | 31   | 79   | 123  |     |   |   |     |   |   |
| 酸素 (O <sub>2</sub> )                   | 0    | 0   | 1566 | 1471 | 1218 |     |   |   |     |   |   |
| 窒素 (N <sub>2</sub> )                   | 0    | 0   | 5665 | 5845 | 5917 |     |   |   |     |   |   |
| 炭化水素総量                                 | 0    | 150 | 1    | 23   | 71   |     |   |   |     |   |   |
| 可燃性ガス総量                                | 0    | 200 | 12   | 83   | 181  |     |   |   |     |   |   |

次に、現地処理装置と監視装置を結合し、マウスやキーボード操作により計測、表示、プリンタの性能・機能を確認の後、現地処理装置のセンサ入力端子より実際のセンサ特性に相当する模擬アナログ量を入力して、カラーディスプレイ面の図・表、グラフ表示及びハードコピーの性能・機能を確認した。

引き続き、各種センサの基本特性として、実器異常検出レベルに対応するセンサ出力の関係を確認の後、部分放電、超音波、温度などの各種センサを結合した状態での総合性能・機能を確認した。

以上のように、工場レベルでの諸試験結果から実用性能が確認できた。

### 7.2 自然環境試験

工場試験終了後、実際の一次変電所構内の油入変圧器近傍に装置を設置し、夏から冬にわたり7箇月間、温度、湿度、気象などの自然環境下での装置への影響性を確認した。

センサや現地処理装置などの性能・機能は問題なかった。また、平成3年9月の18号、19号台風や夏季雷、冬季低温の装置への影響はなかった。

現地処理装置内の上部温度は62℃（外温36℃、上昇値26K）あり、温度低減対策の必要性が明らかになった。装置内湿度については、深夜高くなるが40%（RH）程度であり、装置への影響はない。

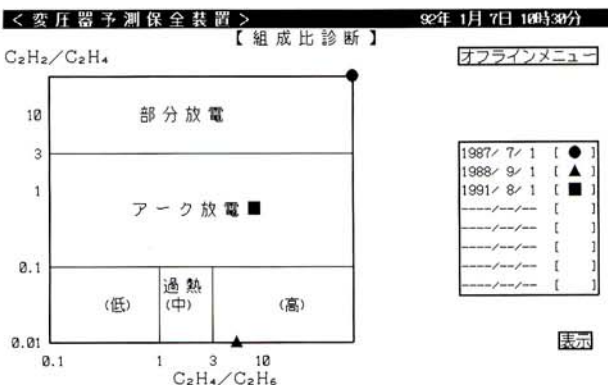
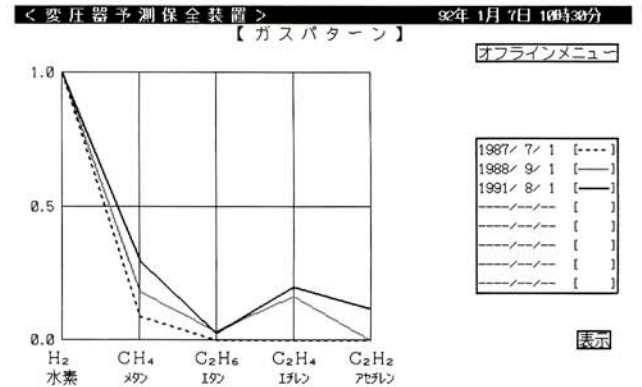


図26/油中ガスオフライン診断の例

Fig. 26/An example diagnosis by off-line gas analysis

## 8 あとがき

本装置は、トレンドを主体に、図・表、グラフを組み合わせた保守支援形を特長として開発し、実用化の目処がたった。

しかし、装置は最大限のセンサが導入されており、変圧器の規模と保全効果を考慮した経済的な装置構築が必要である。

今後は更に装置の信頼性向上を図るため、実規模レベルのインパルス発生器による耐サージ・ノイズ試験を中心に装置への影響性を確認の後、実器でフィールド試験を実施する。引き続き、実用化に向けて装置仕様をまとめる予定である。

最後に、この開発に際して御指導、御協力戴いた、(株)村上技研産業及び(株)ファインテックの関係各位に対して深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 変電所監視システム。電気協同研究。  
変電所監視システム専門委員会編、  
Vol.42, No.3 (社)電気協同研究会, 1987
- (2) 油中ガス分析による油入機器の保守管理。  
電気協同研究。油入機器油中ガス分析保守管理専門  
委員会編, Vol.36, No.1, (社)電気協同研究会,  
1980
- (3) 油入機器の保守管理。電気絶縁油ハンドブック。  
石油学会編, 講談社, 1987, P40
- (4) 変圧器の予防保全技術の現状とその動向。  
電気学会技術報告, 変圧器予防保全調査専門委員会  
編, (II) No.344, (社)電気学会, 1990
- (5) 変電機器の劣化特性と診断方法。電気学会技術報告,  
変電機器点検技術調査専門委員会編, (II) No.310,  
(社)電気学会, 1989