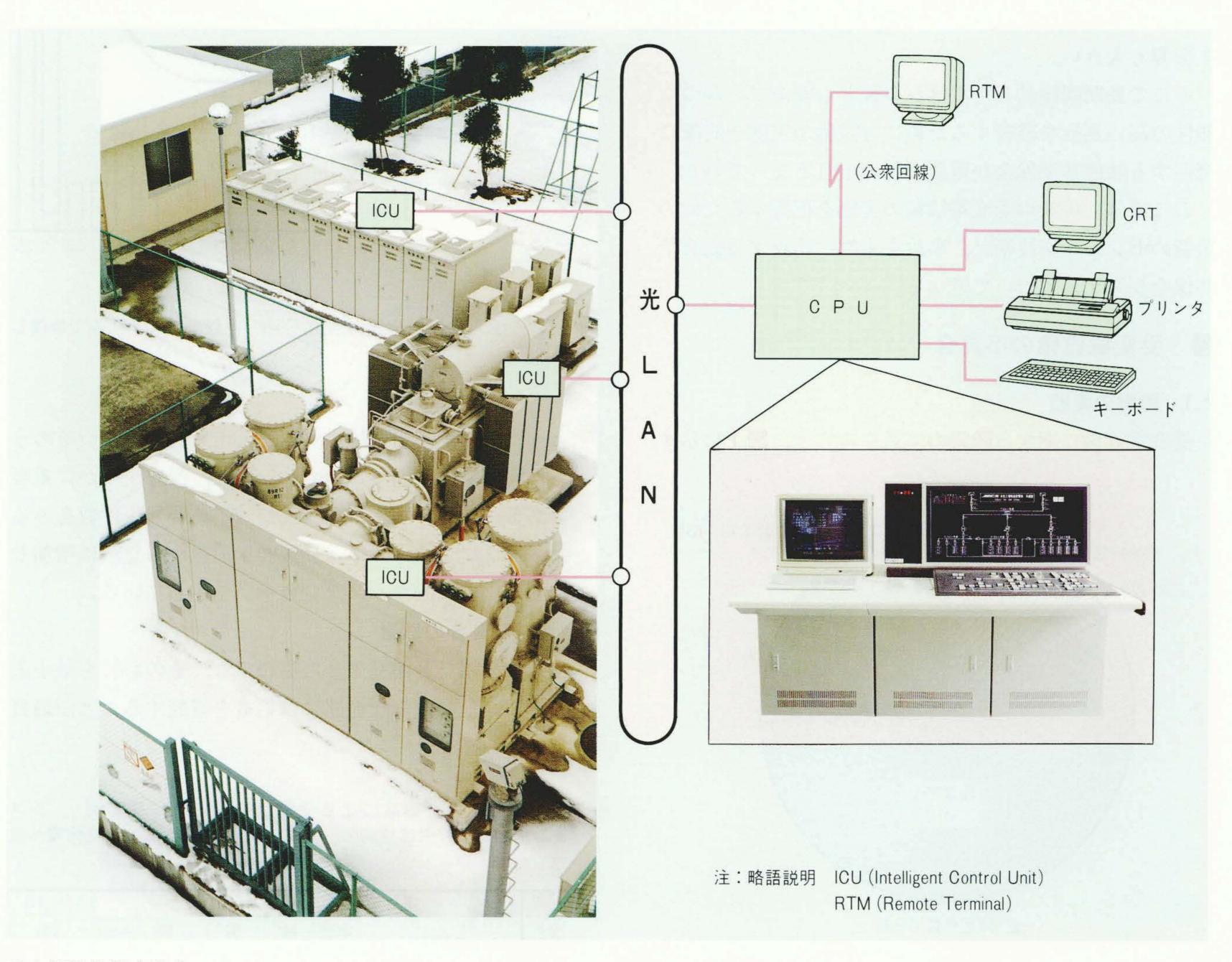
受変電設備の最新予防保全技術

New Preventive Maintenance Technologies for Substations

丸山勝也* Katsuya Maruyama 猿田明雄* Haruo Saruta 沢入光雄* Mitsuo Sawairi



受変電設備総合監視システム 受変電機器に予測保全センサを装備し、瞬時に中央監視室へ異常部位と状態を表示する。

高度情報化社会での電源はますます高品質・大容量化が要求されており、突発性の停電は瞬時でも許されぬ状況下にある。従来は故障したら取り替える事後保全であったが、最近では、不具合現象を予測して計画的な対応を行う予知保全へと変わってきており、受変電機器を構成しているガス絶縁開閉装置・変圧器・閉鎖形配電盤の劣化検出に合致した各種センサが開発されている。

これらセンサは、劣化初期の段階から発生する現象を外部ノイズを識別して異常現象だけを確実に検出できる機能を持っている。そのため日立製作所は、各機器の異常を初期の段階で早期に検出し、計画的に対処することによって機器単品の高信頼化を図るとともに、受変電設備全体をトータルネットワークで連繋することにより、信頼性向上を目指した総合保全システムを構築している。

^{*} 日立製作所 国分工場

1 はじめに

高度情報化社会の拡充に伴って生産設備の自動化や装置産業化が進展し、受変電設備に要求される信頼性も極めて高度なものとなってきている。万一トラブルが生じた場合、単に自社だけにとどまらず地域社会全体に及ぼす影響も大きい。

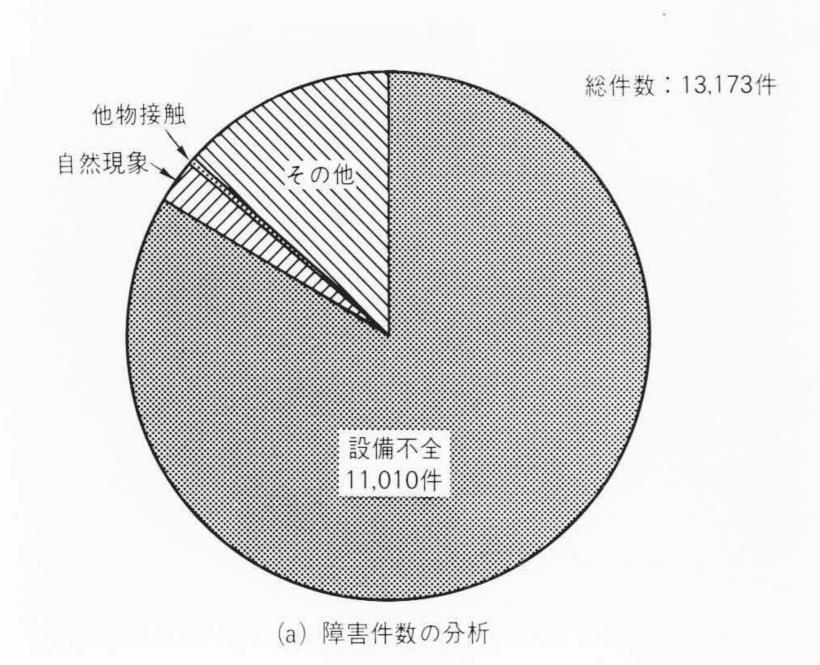
そこで長期間稼動した設備が今後とも安全で,かつ信頼性の高い運転を継続するためにも設備の実態を的確に把握する状態基準保全が重要な管理項目となっている。

ここでは、現状の受変電設備の実態を把握するための 最新のセンシング技術と、事故を未然に防止する総合予 防保全システムについて述べる。

2 受変電設備の不具合

2.1 障害の実態

受変電設備に関する障害の実態をみると、図1に示す



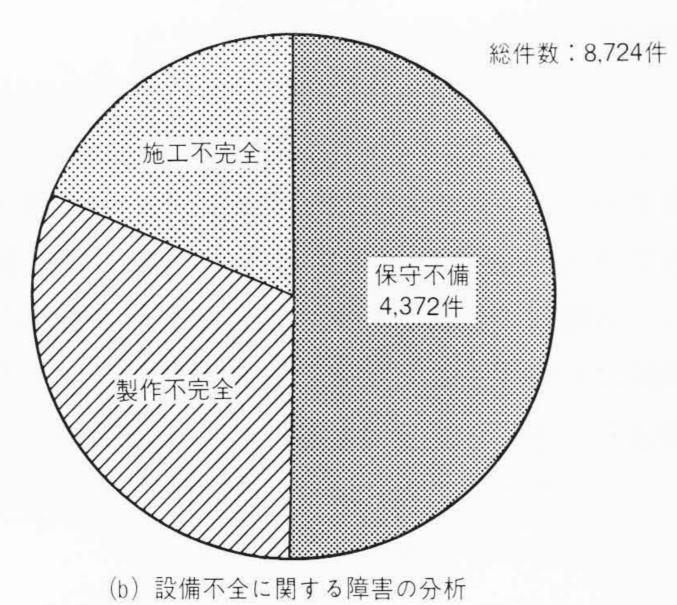


図 | 受変電機器の障害件数の内訳 設備不全による障害件数のうち保守不備が50%を占めている。

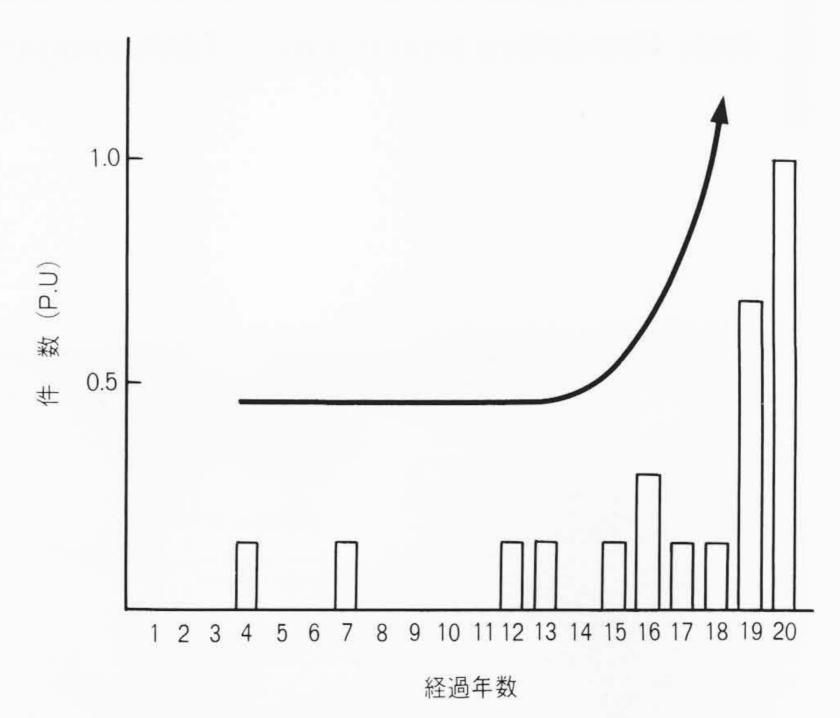


図 2 油入変圧器の事故発生分布 稼動後20年前後で急増している。

ように設備不全が全体の84%と大半を占め、かつそのうち保守不備に起因する内容が50%と、保守がいかに重要であるかがわかる。また変圧器の不具合発生件数をみると、図2に示すように稼動後20年前後から急激に増加しており、典型的なバスタブカーブを示している。

2.2 不具合の影響

たとえ不具合が発生した場合でも,その影響を最小限 に抑え,他の健全な範囲には給電を継続することが最良

表 1 フィーダ事故による受電遮断器トリップ事例 システム構成および保護協調の不備により、フィーダ事故が全停電へ直結した。

No.	事 例 (起因元)	稼動 年数 (年)	被	害	原	因
1	小動物侵入 三相短絡, 受電ト リップ (ケーブルカバ) 一破損	20	工場全	停電	運転で変 流強度が	設後の並列 流器の過電 不足し,変 し母線事故 た。
2	断路器の汚損劣化 三相短絡, 受電短 絡 (エポキシの) (汚損・湿潤)	19	工場全	停電	連絡用断 相短絡し ク用変圧 断器がな	設後の母線 路器部で三 たが,バン 器一次に遮 いたり ップ した。
3	小動物侵入 三相短絡, 受電ト リップ (ケーブルカバ) ーなし	24	工場全	停電	器二次を ため過負 短絡電流 飽和し継	のため変流 引き回した 担となり, で変流器が動作 電遮断器が した。

のシステムと言えるが、**表1**に示すように負荷側のフィーダで起きた事故によって受電遮断器がトリップし、事業所が全停電して大きな損害を発生した事例も多く、特に20年以上経過した古い設備に生じている。したがって、受変電機器の劣化兆候をいかにして初期の段階で検出し、早期にその要因を排除するかが重要な課題である。

3 予防保全

3.1 寿命予測

受変電設備の寿命は、設置環境条件(屋内・屋外・汚損 条件・有害ガスの有無など)、使用条件(多頻度開閉・負 荷変動・高調波発生の有無など)、さらにこれら電気品を 設置している電気室、および電気品を収納している配電 盤の構造によって大きく左右される。したがって、機器・ 設備の稼動状況を的確に把握し、適切な時期に細密点検 や更新を計画的に実施することが重要である。

一般に電気機器の寿命は,下記の要素によって決定される。

- (1) 性能が低下し、使用上の安全維持が困難
- (2) 故障発生頻度および生産性損失の増加
- (3) 交換部品の入手困難
- (4) 性能低下による維持管理費の増大

(5) 技術的に修理不可能

3.2 予防保全

予防保全は、計画的保全と非計画的保全とに大別される。従来は予防保全の必要性の認識が低いので、現象が発生した後に対応する事後保全がほとんどであり、復旧までには不具合部品の製作や交換などの時間を必要とした。

このような突発的な停電をなくすためには、計画停止による点検や定期的な部品交換および設備の更新が必要であり、状態監視による予防保全が重要な管理項目となった。このため、各種データに基づいて計画された計画保全もさることながら、オンコンディション保全やモニタリング保全のように、状態を監視するため製品に各種センサを付属させた予知保全技術がますます重要となってきた。

3.3 設備診断

設備診断方法には外観点検と解体点検があるが、機器・設備を安心して継続使用するためには日常の状態変化をとらえることが重要であり、通常行われている巡視点検時、触手・におい・変色・異音など五感による異常兆候の把握が大きなポイントである。さらに、定期点検時にセンサ技術を活用した余寿命予測を含めた状態評価

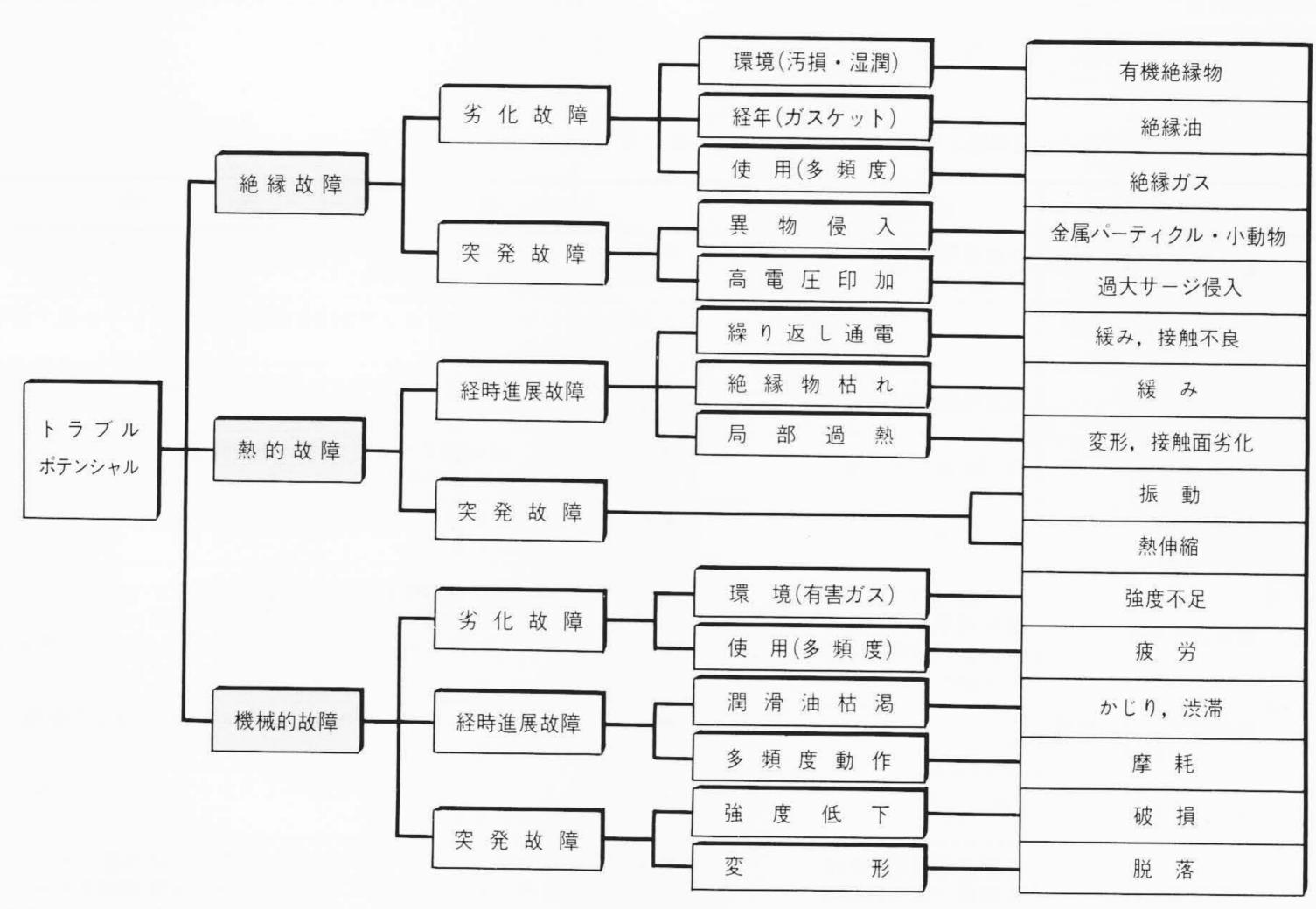


図3 トラブルポテンシャル 絶縁耐力の低下,局部過熱による熱劣化および摩耗などの機械的劣化がある。

が設備診断の基本である。

受変電設備のトラブルポンテンシャルを図3に示す。 絶縁故障・熱的故障・機械的故障に大別される。これを 故障の進展別に見ると一部に予測が困難な突発性故障も あるが、ほとんどが劣化初期の段階での検出が可能であ り、日立製作所はそれぞれに対応したセンサを開発して いる。

4 各種診断技術

ガス絶縁開閉装置,油入変圧器および閉鎖配電盤で現 在実施されている診断技術の検出レベル,および動作原 理を表2に示す。これらの診断技術は、対象機器の検出 項目ごとにそれぞれ特有の現象があるため、その現象に 合致した診断技術を開発しており、オンライン・オフラ インの両方で使用している。

4.1 ガス絶縁開閉装置

ガス絶縁開閉装置は高電圧機器をSF。ガス封入容器の中にコンパクトに収納しているため、導電性異物や支持絶縁物の絶縁耐力低下による絶縁破壊が最も大きな不具合要因となっている。したがって、これらの劣化要因をガス容器の外から異常現象を介して確実に検出するため、容器の内面へ設置したコンデンサカップリングによる部分放電検出器や、容器の表面へ設置して異物の容器への衝撃を検出する加速度・超音波センサが実用化され

ている。

4.2 油入変圧器

油入変圧器のコイル間および層間絶縁は絶縁紙で構成しているので、絶縁紙の機械的強度低下による破損が絶縁破壊の最も大きな要因である。油中に含浸された絶縁紙は経年による紙の重合度の低下によって引張り強さも低下し、励磁突入電流や外部事故電流のような大電流による電磁機械力で紙が破断して絶縁耐力が低下し、部分放電が発生する。この劣化現象では、紙の組成分解から発生するCO, CO2の発生量、および成生速度から劣化経緯が判明する。また、変圧器内部での放電アーク等で発生するアセチレン(C2H2)など、可燃性ガスの成分および発生量を油中ガス分析によってガスパターンを検出することにより、内部異常現象を推定することができる。

5 予防保全システム

5.1 予防保全システムの構築

システムの構築にあたっては、500 kV変電所の予防保全システム技術を活用し、システムをシンプルにするため、センサの種類の制限および"HISMAC" (Hitachi Substation Man-machine Console: 受変電設備監視制御装置)への機能の組み込みを行っている。予防保全機能をHISMACに組み込んだシステムの例を図4に示す。

(1) センサ

表 2 各種診断技術 運転中に各機器の異常を、初期の段階で検出できるセンサ類を示す。

機器		診 断 技 術	検出レベル	動作原理
ガス絶縁機器	1	微小部分放電検出	● 放電電荷量 10 pC	●コロナ放電電圧を,コンデンサ電極で750 MHz以上の周波数帯域で外部ノイズを識別し、検出する。
	2	微小異物検出		●超音波センサ,加速度センサ出力の周波数帯域とレベル比で導電性異物を検出する。
	3	通電異常検出	●定格電流の25%	●タンク表面の加速度センサで I ~ 2 kHzの周波数帯域の熱振動を検出する。
	4	X線外部診断	●16種類の濃淡差	● X線発生装置, 撮像装置および画像処理装置で, 短時間にタンク内部の 組立状態を観察可能である。
	5	避雷器漏れ 電流測定	●0.05 mA以上	●クランプ型CTでギャップ付き避雷器の分路抵抗や,酸化亜鉛素子の劣 化電流値を測定する。
油入変圧器	Ī	油中ガス分析	 可燃性ガス総量 6 成分ガス分析 (H₂, CO, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₂H₂) I ppm 	 ●油中ガス抽出器と半導体ガスセンサで、高感度かつ短時間に、6成分のガスの成分量と組成比から異常内容を判定する。 ●油中のCO、CO₂の量から絶縁紙の引張り強さを推定し、寿命を予測する。
	2	負荷時タップ切換器 のトルク監視		●伝動軸にはり付けたストレンゲージのひずみ量をFM波で受信し、操作 トルクを測定する。
	3	油中水分測定	0.1 ppm	●薄膜酸化アルミニウムセンサとサーミスタを組み合わせた水分計で、 油中の微量水分を測定する。
閉電鎖盤配	ı	放電電磁波検出	● 放電電荷量300 pC ● 盤内>盤外検出量 3 dB以上	●金属製外被の電磁シールド効果を使い、盤内収納機器の劣化による部分放電を盤内・盤外設置のアンテナで同時に放電電磁波を検出し比較 判定する。

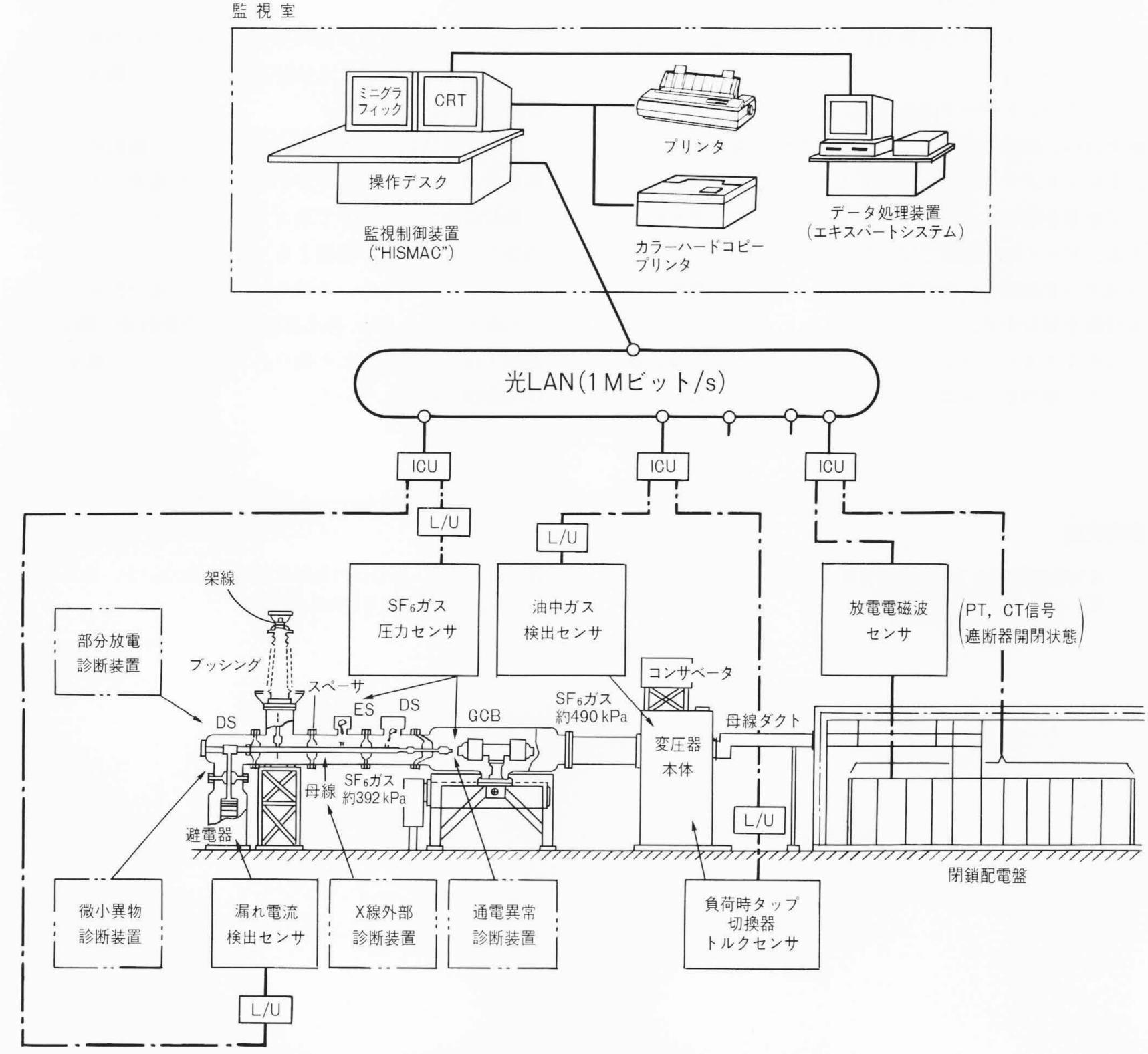
センサ自体のトラブルや寿命で, 受変電機器を停止す ることがない構成にしている。主要なセンサの種類を先 の表 2 に示す。

予防保全システムとしてオンラインで取り込むセンサ の種類は、図4に示すとおり、長時間の連続データによ ってガス圧,油中ガス,漏れ電流等の経年変化や劣化な どの異常兆候が検出可能なものを主体にしている。オン ラインで取り込んでいるセンサからのデータで異常兆候 が検出されると、同図に示す各種診断装置(オフライン) によって精密な予測診断(部分放電診断装置, X線外部診 断装置など)を行う。

L/U(Local Unit)では、センサからの信号を一次処理 して、4~20 mAの信号レベルでICU(Intelligent Control Unit)へ伝送する。

(2) 信号伝送系

ICUでは、L/Uからの信号および受変電設備の状態監 視用として遮断器等の開閉信号や計器用変成器(CT, PT) 二次電流(5A), 電圧(110 V) 信号などを入力し, 必 要な情報を光LANへディジタル信号に変換して伝送す る。ICUは保全の支援データとして、地絡時の零相電流 や事故電流の最大値,系統電圧の最小,最大値を検出し, さらに機器の動作回数などのデータを, センサからのデ



注:略語説明 DS (断路器), ES (接地装置), GCB (ガス遮断器), LTC (負荷時タップ切換器), L/U (Local Unit)

図 4 各種予測診断装置と総合予防保全システム構成 現場サイドのセンサ、信号伝送の光LANおよび監視室の処理装置で構成する。

ータといっしょに定期的に"HISMAC"へ伝送する。伝送インタフェースは、方式がRS-422、手順がHDLC、速度が $9.6\,\mathrm{k}$ ビット/sである。光LANは伝送速度 $1\,\mathrm{M}$ ビット/sでICUを $1\,\mathrm{n}$ ープ32台接続でき、 $2\,\mathrm{n}$ ープまで実装可能である。

(3) 監視室

HISMACでは、予防保全システムとしての機能が受変 電設備の監視制御機能の1パッケージとして装備されて いる。マンマシン用CRTにより、平常時は電気系統機器 の状態を系統図に示すとともに電圧、電流などの計測値 をディジタル表示して監視を行っている。

一方、センサからのデータは、呼出要求によって一か 月間のトレンドグラフを許容範囲の上限、下限とともに CRTに表示する。

センサからのデータの時系列的変化によって機器の診断を行い、診断によって異常と判定された場合に、CRTにトレンドグラフを自動表示するとともにアラームによって注意を喚起し、データ処理装置へそのデータを伝送する。データ処理装置では、AIを応用したエキスパートシステムを起動し、伝送されたデータによって機器の精密診断を実行する。

このエキスパートシステムは、IF~THENルールに基づいて、専門家の知識をデータベース化している。

5.2 予防保全システム導入の効果

(1) 停電事故や重大障害の未然防止

故障に至る前兆現象を検出し、事前に計画停電などによって処置することが可能であり、不意の停電事故や重 大障害を防止できる。

(2) 保守支援

センサからの情報により,異常が発生した場合に異常 発生個所の特定や原因調査,対策の迅速な対応が可能と なる。さらに,経時的データの提供により,適切な点検 時期の予測や設備更新計画の立案が可能である。

6 おわりに

ここでは、受変電設備の劣化度を検出する各種センサ と、それを評価判定する診断装置のシステム構成、およ び機能について述べた。

各種生産活動の源である受変電設備も、稼動後20~30年を経過した経年設備が多くなり、また電源へ要求される供給信頼度はますます増大している状況下で、機器予防保全の先手管理が重要となってきている。これらのニーズにこたえるため、各種センサやその総合監視システムの技術開発を進め、検出感度の高い診断技術の開発と、運転・保守支援機能とを織り込んだシステムの構築に向けて今後も推進していく。

参考文献

- 1) 電気協同研究会:変電設備信頼度向上対策,電気協同研究,41,5(昭和61年2月)
- 2) 丸山,外:あなたの電源設備に不安はないか,電気学会 誌,112巻,12号(平成4年)