

最近では、変電機器の保守について、信頼性を確保しながら保守費を最少とする保守、いわゆるRCM (Reliability Centered Maintenance) が提案され始めている。RCMにおける予防保全や予測保全には、機器の監視・診断装置が非常に重要である。このような監視・診断装置は、経済性と十分な性能が求められてきた。変電機器のRCMの具体的なイメージはまだ明確にはでき上がっていないが、ヨーロッパなどの製造者では、RCMの予防保全と予測保全を目的とする監視装置を製作し始めている。

当社が最近開発したネットワーク型の変電機器の監視・診断システムは、最新のイントラネット技術を適用したもので、保守費の低減と機器の信頼性の確保に効果を上げられるものと考えている。

Reliability-centered maintenance (RCM) has been proposed recently in order to minimize maintenance costs while securing the reliability of substation facilities. Monitoring and diagnostic equipment is highly important for preventive maintenance and predictive maintenance in RCM. Such monitoring and diagnostic equipment must offer good economic efficiency and high performance. Although a concrete image of RCM for substation facilities has not yet clearly appeared, European manufacturers have begun to produce monitoring and diagnostic equipment aiming at preventive and predictive maintenance for RCM.

This paper describes a network type monitoring and diagnostic system for substation facilities developed recently by Toshiba. This system applies the latest intranet technology. The new monitoring and diagnostic equipment is expected to be effective in reducing maintenance costs while securing the reliability of substation facilities.

1 まえがき

電力エネルギーの安定供給を担うために、変電機器には常に最新の技術が取り入れられて、信頼性の向上、コンパクト化、低コスト化が推進されてきた。これまで、機器の監視・診断装置は、信頼性の向上を図るために予防保全の面から採用され、スタンドアロン型が一般的であった。機器の信頼性を確保し、変電機器の保守コストを低減するには、変電機器の監視・診断システムは制御システムとの統合や監視項目の合理化が必要である。

ここでは、これまでの機器の保守をブレークスルーする技術として、インターネットやイントラネット技術を取り入れた機器の監視・診断システムについて述べる。このようなシステムが今後広く採用され、機器の遠隔保守や遠隔診断が一般的となり、保守コストの低減とともに、事故の未然防止や事故時の処置の迅速化が確立される時期も近いものと思われる。

2 変電所の情報端末化

変電所の情報には、図1に示すように主回路の電圧・電流などの系統情報、機器情報、制御・保護情報がある。これらのデータをデジタル信号ですべて扱える次世代の変電所監視制御システムを適用することにより、変電機器の監視・診

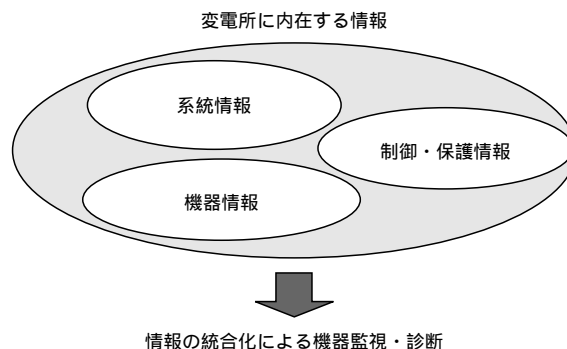
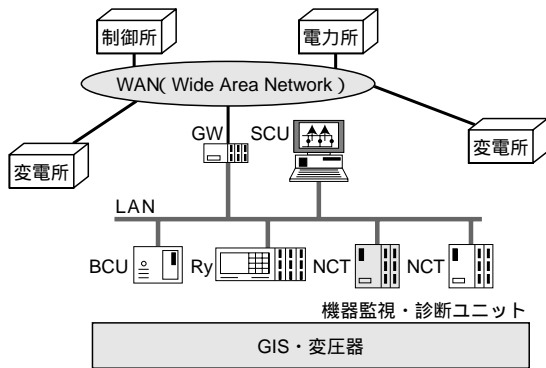


図1. 変電所に内在する情報の統合化による機器診断の合理化 変電所の制御、保護、監視のすべての情報を統合化して扱える変電所の情報端末化が必要になっている。

Rationalization of facility diagnosis by integration of information inherent in substation

断は、これまで以上に変電所の情報を活用できるようになる。

また、変電所の制御・保護情報や機器の監視・診断情報がデジタルデータとなることから、図2に示すようにイントラネット、インターネットを活用したネットワーク型の機器の監視・診断システムを容易に構築することができるようになった。また、GPS (Global Positioning System) を活用して、機器の監視・診断情報に時刻付けが可能となるため、機器や保護リレーの応動のタイミングが明確にわかるようになる。



GW : Gate Way SCU : Station Control Unit BCU : Bay Control Unit
NCT : Network Computing Terminal Ry : Relay

図2. 次世代の変電所監視制御システム(制御,保護,機器監視・診断の統合化システム) 制御・保護・監視情報のデジタル化に伴い,構内だけでなくネットワーク内のどこでも情報を活用できるようになった。Next-generation substation supervisory and control system (integrated system for control, protection, and monitoring and diagnosis of facilities)

機器監視・診断システムが,従来のスタンドアロン型からネットワーク型へ移行することにより,次のメリットが得られる。

- (1) 遠方からの機器の状態監視(ネットワークに接続できれば,場所を選ばずに機器の状態把握が可能)
- (2) メーカーや保守点検会社の機器データベースの活用(工場出荷データや保守点検データ)
- (3) ネットワークを活用した同一形式機器の予防保全
- (4) 現場機器の詳細な不具合情報(30F情報^(注1))の取得
- (5) 事故発生時の機器・保護リレー情報による事故解析

特に,経年機器の運転信頼性を確保するには,同形機器の運転データの比較が有効であり,このような機器の運転データを人に代わって自動的にデータ収集や診断を行うエージェントプログラムが有効である。保安巡視のインターバルの延長や機器の遠隔監視による巡視インターバルの延長にも,このようなネットワーク型の監視・診断システムが適用可能となり,保守の省力化に結びつけられる。

3 変電機器保守の動向

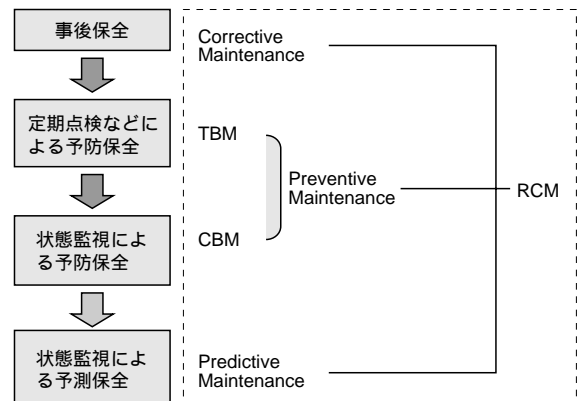
変電機器の保守については,予防保全的な保守から予測保全的な保守も積極的に取り込む動向にある。機器の状態監視や累積損耗度のデータ蓄積により,必要な時に必要な保守を行える予防保全(Preventive Maintenance)が導入され始めている。変電機器の保守は,故障が起きて始めて修理を行う事後保全(Corrective Maintenance)から,電力システムの拡大と安定供給を背景にあらかじめ決めたインターバルで定期的に点検を行う予防保全(TBM: Time-Based Maintenance)に移行し,これが現在の一般的な変電機器の

(注1) 30は,交流変電所器具番号(JEM-1093)で機器の状態又は表示器を表す。Fは故障を表す。

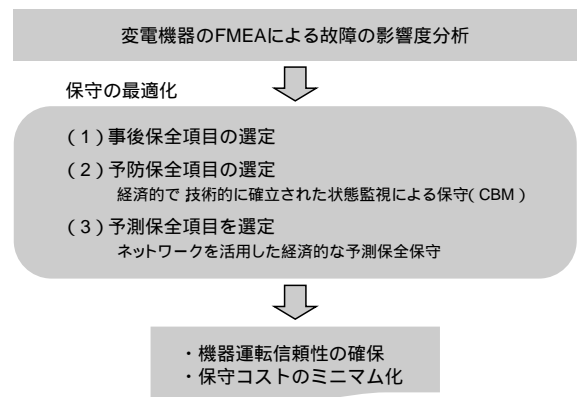
保守となっている。

一方,開閉装置のIEC規格の技術報告書⁽¹⁾では,信頼性を確保し保守コストを低減するために機器の故障モードをFMEA(Failure Mode and Effect Analysis)で分析し,各々の故障モードに対して事後保全,定期点検による予防保全,監視装置を適用した状態監視による予防保全(CBM: Condition-Based Maintenance),監視装置による故障予知などの予測保全(Predictive Maintenance)を選定して経済性や適用効果を評価してこれらを最適に組み合わせ,信頼性が十分に確保され保守コストが最少になるような保守方法とするRCM(Reliability Centered Maintenance)が,変電機器に提案されている。変電機器の保守の流れと今後の動向を図3に示す。

欧米の変電機器のライフサイクルコスト評価は,本体コストに保守費用や事故時に発生する損失や復旧費用を評価して行われる。変電機器や変電所の構成,更に機器の予防保全や予測保全の方法もこのライフサイクルコストを基準に決められ,最近では状態監視を行う監視・診断装置がこれら



(1) これまでの保守の流れ



(2) RCMによる機器の保守

図3. 変電機器の保守のこれまでの流れと今後の動向 信頼性が確保され,保守コストが最少になるように,事後保全,予防保全,予測保全を行う項目を適切に決定するものが,RCMである。機器の状態監視装置が有効に使用される。

Flow of substation facility maintenance, and future trend

のために導入され始めている。

現状では、事故の予測保全はエキスパートシステムでの診断や、事故が発生する前の機器運転データと基準値との比較により機器の異常が診断されるが、この技術は、経済性や精度の面で課題があるとともにスタンドアロンの監視装置での簡易な処理では限界があった。イントラネット並びにインターネットなどのネットワークを活用することにより、機器の基準値、これまでの点検データ、同一形式の運転データや不具合発生器との比較により簡便な予測保全が可能になる。

4 増大する経年設備と保守費低減に有効な監視項目

電力系統の拡大とともに、経年変電機器は急激に増大している。例えば、72kV以上のガス遮断器(GCB)の経年分布を図4に示す。ここ15年間に、その設備台数が約3.1倍に増加しており、20年以上使用されている経年機器の台数は20%を超過している。変圧器やガス絶縁開閉装置(GIS: Gas Insulated Switchgear)でも同様に経年機器が増大しており、これらの点検保守の合理化と運転信頼性の確保がこれまで以上に必要となってきた。

経年機器が運転されている変電所では、制御機器も老朽化が進んでいるため、従来の変電所のアナログ監視制御システムをデジタル制御システムへ更新するとともに、機器に厳選したセンサとネットワークターミナル型の機器監視・診断端末(Network Computing Terminal: 以下、NCT-Mと略記)を適用することにより、点検保守の合理化と経年機器の運転保守の信頼性確保が可能になる。機器に適用するセンサは、点検保守の合理化並びに機器事故未然防止の観点から選択した。例えば、GISの場合、メンテナンスでもっとも費用の掛かる遮断器接点の定期的な交換時期の延長というニーズが大きいことから、GCBの接点消耗量を監視項目とした。電流値は、簡単なCT(変流器)を設けて知ることもできるし、統合化された変電所監視制御システムの保護リレーから事故遮断電流情報を得ることもできる。同様にしてNCT-

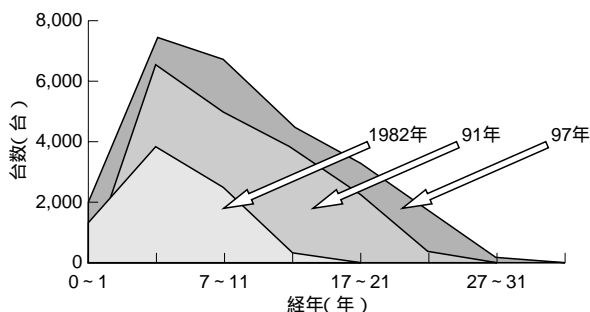


図4. 72kV以上のGCBの経年分布^{(2),(3)} 遮断器の例であるが、系統の拡大とともに経年設備は増大しているため、保守の合理化が必要となっている。

Secular distribution of gas circuit breakers (GCBs) of 72 kV or more

Mの代表的な監視項目を決定した。

5 ネットワーク型監視・診断装置の特長と仕様

NCT-MのGISや変圧器での監視・診断項目を表1に、外觀を図5に示す。

NCT-Mは、下記のような特長を持っている。具体的な仕様を表2に示す。

- (1) オープン・ネットワークに対応したインタフェース(世界標準となっているTCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)を採用)

表1. NCT-Mの代表的な監視・診断機能
Typical functions of NCT-M monitoring and diagnosis equipment

機器	GIS	変圧器
監視診断項目	(1) GCB累積遮断電流 (2) 30F情報 (3) 油圧ポンプ運転回数 (4) 機器の開閉回数 (5) GCB/DS開閉特性 (6) ガス圧力* (7) 故障点標定*	(1) 負荷電流 (2) 30F情報 (3) LTC動作回数・時間 (4) LTCモータ電流 (5) 油温* (6) 油面* (7) 油中ガス濃度*

DS: Disconnecting Switch LTC: on Load Tap Changer
*: 機器監視のためにセンサが必要な項目



図5. NCT-M(機器監視用) 機器の故障表示はLCD(Liquid Crystal Display)で行い、従来の機器の故障表示を一括してまとめ、経済性も向上させた。

NCT-M (for facility monitoring)

表2. NCT-Mの基本仕様
Basic specifications of NCT-M

項目	仕様
制御電源	DC110V, AC100V
外部インタフェース	GPS(光インタフェース) 10BASE-T/FL RS232C
商用周波耐電圧	AC2,000V 1分間
雷インパルス耐電圧	7,000V(電気回路一括大地間)
耐ノイズ	振動性サージ: 2.5kV 方形波インパルス性ノイズ: 2kV
耐衝撃	30G(3方向)

10BASE-T/FL: LANの伝送路に関する規格

- (2) 豊富な機器監視用入出力基板のラインアップ
- (3) 現場設置を考慮した高い耐ノイズ性を実現
- (4) GPSによる高精度時刻付けが可能
- (5) マイクロWebサーバ機能の搭載により、既設機器へも単独で設置可能

6 NCT - Mの具体的な適用

経年設備がますます増大する状況で、機器監視によりこれらの変電設備の信頼性を維持することが非常に重要となっている。不要な点検の排除と経年機器の信頼性の確保を目的として、NCT - Mを既設機器に設置すると、定期点検費用の低減にもつながり、予防保全的に有効である。しかし、次の事項が既設設置の際に大きな障害となるため、これらを回避する方法をとり、既設機器へ適用を広げようとしている。

- (1) 機器の監視診断端末並びにセンサ取付けのための主回路機器の停止の回避もしくは低減
- (2) 既設機器の信号伝送の確保(複数の端末の信号をまとめてPHSなどで送信する簡易な方法から上位のデジタル保護・制御システムとGWによるネットワークへの接続)
- (3) 現地改修取付け時の工事費の低減

現在、取付け並びに伝送も簡易なセンサを開発しており、これにより(1)、(3)の障害を回避する。これにより既設経年設備への適用を広げようとしている。

NCT - Mについては、現在各種検証を実施しており、実適用における各種条件について問題の発生がないように配慮している。既に、新設500kV変電所のGIS・変圧器への適用が決定しているが、既設単体遮断器や変圧器に適用し、信頼性を確保しながら機器の延命化にも役に立つ機器の監視・診断ができる端末である。

7 ネットワークを活用した遠隔監視と監視・診断

NCT - MはマイクロWebサーバを備えているので、各個別機器の状態をどのようなときにも、どこからでも、ネットワークに接続されていれば監視が可能である。したがって、この特長をうまく使用すると遠隔監視や遠隔診断が容易にできるため、機器の監視・診断を効率的に運用できるシステム作りが非常に大切である。図6は、人に代わって複数の変電所の機器データを収集し、関連データを集めて変化量を比較診断するエージェントプログラムを説明したものである。変電機器の状態監視データをネットワーク経由でいろいろ活用する方法があるため、NCT - Mを設置後このようなエージェントプログラムをシステムに後でインストールすることが可能である。

(注2) Java及びその他のJavaを含む商標は、米国Sun Microsystems社の商標。

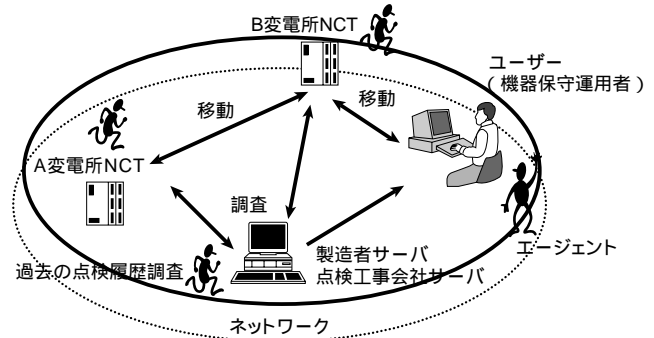


図6. エージェントの活用による機器の監視・診断 人に代わりネット上をエージェントプログラムが移動し、変電所の機器の運転情報を収集、関連データとの比較による機器の診断も可能になっている。NCTには、Java VM^(注2)を搭載する。

Monitoring and diagnosis of facilities with practical use of agent

現状の機器保守をこのようなエージェントプログラムにまかせることも可能となっている。

8 あとがき

現状の変電機器の保守動向と当社のNCT - Mについて述べた。NCT - Mの導入により、遠隔保守や遠隔診断ができるようになり、経年機器の信頼性を確保できることから、今後の需要が期待される。従来の監視・診断システムに比べ経済性は大幅に向上している。この監視・診断端末とエージェントプログラムの導入が、変電機器の保守のブレークスルー技術になることを期待している。今後、新しく開発される変電機器は、電子回路が大幅に組み込まれ、機器自身での診断が高度になり、NCT - Mによるネットワーク化は更に多くのメリットをユーザーにもたらすものと考えられる。

文献

- (1) IEC TR62063, High-voltage switchgear and controlgear - The use of electronic and associated technologies in auxiliary equipment of switchgear and controlgear, 1998-08, p.35 - 39.
- (2) 変電設備の点検合理化. 電気協同研究. 56, 2, 2000-10, p.15 - 216.
- (3) 変電設備保全の高度化・効率化. 電気協同研究. 50, 2, 1994-8. p.183 - 262.
- (4) 関口勝彦, ほか. 電力系統保護制御システムへのイントラネット技術適用. 東芝レビュー. 54, 6, 1999, p.34 - 37.



横田 岳志 YOKOTA Takeshi

電力システム社 電力事業部 電力変電技術部部長。
変電システム・機器の開発に従事。電気学会、IEEE会員、
CIGRE SC23委員。

Transmission, Distribution & Hydraulic Power Systems & Services Div.



上原 京一 UEHARA Kyoichi

電力システム社 電力事業部 電力変電技術部主幹。
変電システム・機器の開発に従事。電気学会、IEEE会員。

Transmission, Distribution & Hydraulic Power Systems & Services Div.