

電磁波方式による部分放電検出技術 について

Technology of detecting the Partial Discharge in substation equipment
inside applied the electromagnetic wave detection method

岡田 直喜*

N. Okada

大木 秀人*

H. Oki

保戸田 悦生*

E. Hotoda

概 要

近年、高経年化したガス絶縁変電機器の増加に伴い、これらの効果的運用・保守を目的として、機器内部の絶縁劣化の予兆を的確に捕らえる絶縁診断技術の確立が重要視されている。

本稿では、信頼性が高く、ガス絶縁変電機器の効率的な運用・保守が実現可能な電磁波方式による部分放電検出技術について紹介する。

Synopsis

In recent years, with increase of the gas insulation substation equipment which became high aging, for these effective use and maintenance, the establishment of insulation diagnosis technology becomes important, which enables detecting insulation deterioration tendency of the equipment inside precisely.

In this report, we have introduced the PD detecting technology by electromagnetic wave detection method with high reliability, which can realize effective use and maintenance of the gas insulation substation equipment.

1. まえがき

SF₆ガスを適用したガス絶縁開閉装置（GIS：Gas Insulated Switchgear）やガス絶縁変圧器などのガス絶縁変電機器は、変電所の大幅な省スペース化をもたらしてきたが、実用化されてからすでに30年以上が経過している。そのため、近年では、これら変電機器の絶縁性能を失うことなく、ライフサイクルコストの低減化・効果的運用・保守が求められてきている。その一環として、これら機器内の絶縁状態を判断するために、機器内で発生する部分放電現象を的確に判断する絶縁診断技術の確立が重要となっている。

電気学会技術報告第982号⁽¹⁾では、部分放電検出を目的とした絶縁診断技術として、機器内・外部電極（アンテナ）による電磁波法や振動・音響法による診断技術が推奨されているが、本稿では、診断対象をGISとして、実変電所のようなノイズの多い場所でも微小な部分放電を検出可能なUHF帯を監視する電磁波検出方式の絶縁診断技術について紹介する。

2. 電磁波検出方式

GISなどのガス絶縁変電機器内部に金属異物が混入して部分放電が発生すると、これに伴い表1⁽¹⁾に示すような電気・磁氣的、音響的、化学的、光学的などの二次的な現象が発生する。現在、これらの二次的な物理量（電気・振動・音響など）を検知する手法として種々の測定法が開発され実用化されている。現在我々は、これらの測定法の中でも数多く実用化されその期待の大きい電氣的検知手法である電磁波検出方式を用いた絶縁診断システムについて開発を進めている。部分放電に伴い発生する電磁波は、ガス絶縁変電機器内部を伝搬し、ブッシングや絶縁スペーサなどの電磁波に対して電氣的に開口部となる部分より外部へ、図1に示すように数MHz～1GHz以上の広帯域にわたって放射される。この電磁波を電氣的開口部周囲に設置した外部アンテナ、外部電極などにより検出する。

*技術開発研究所システム研究センター

表 1 部分放電現象に伴う諸現象とその原因⁽¹⁾

分類	発生する現象	原因
電気・磁氣的	電位差、電荷磁界、電磁波	伝導電流、変位電流およびこれらの変化
音響的	音波、超音波	エネルギー注入（微小爆発）によるガス圧力の変化
力学的	衝撃性振動	電界による異物の移動
光学的	放電光	分子の励起の緩和、イオンと電子の再結合
化学的	分解生成ガス	分子の解離、解離分子の酸素や水などの結合
熱的	加熱	エネルギー注入による加熱

3. 絶縁診断システム

3.1 システム構成

図2に電磁波検出方式による絶縁診断システムの構成を示す。

スペクトラムアナライザには、部分放電による電磁波を高速で検出するダイレクトコンバージョン方式を採用し、低消費・小型化を図った新開発のリアルタイムスペクトラムアナライザを使用した。その構成を図3に示す。なお、スペクトラムアナライザの主な仕様は、測定周波数範囲：300MHz～800MHz、検出感度：-100dBmである。

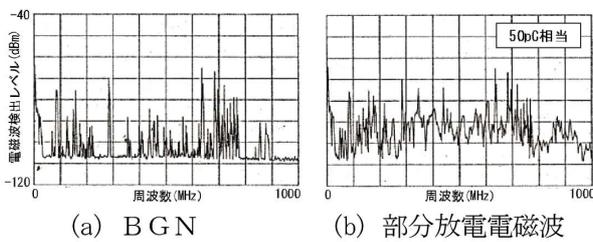
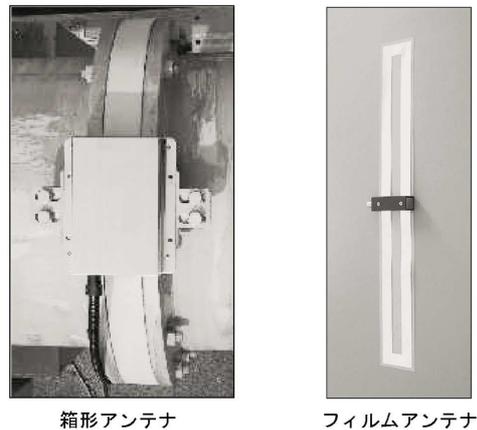


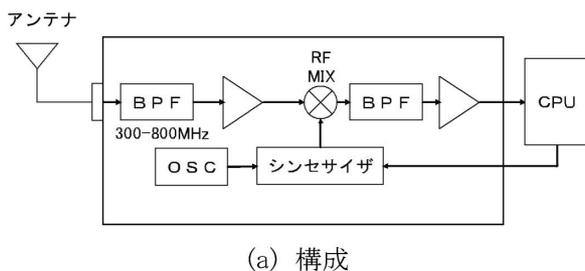
図 1 部分放電電磁波の周波数特性例

なお、電氣的検知手法で取り扱う周波数帯域は主に、HF帯域（3MHz～30 MHz）、VHF帯域（30 MHz～300 MHz）、UHF帯域（300 MHz～3GHz）であるが、今回は、診断対象をGISとし、実変電所のようなノイズの多い場所でも微小な部分放電信号を検出可能なUHF帯を監視している。



箱形アンテナ

フィルムアンテナ



(a) 構成



外形：W116×D80×H27mm

(b) 外観

図 3 スペクトラムアナライザ

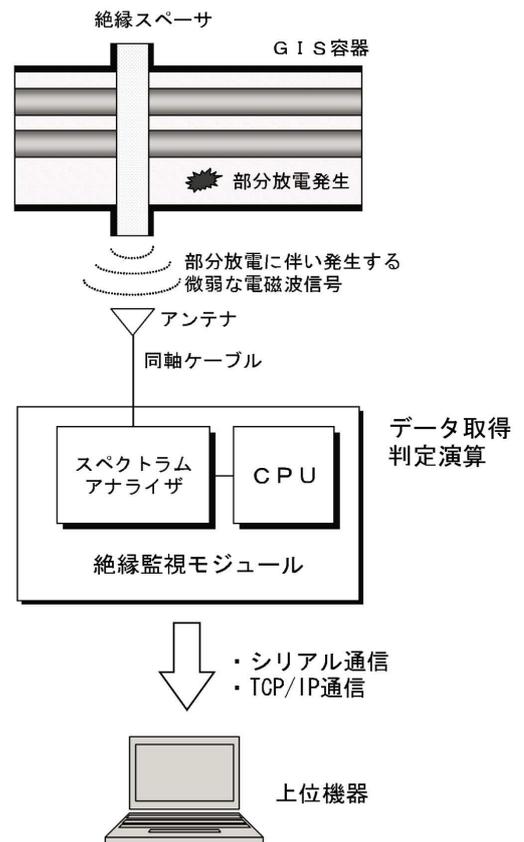


図 2 絶縁診断システム構成

このスペクトラムアナライザとCPUを組み合わせ、図2に示す絶縁監視モジュール（外形：W160×D85×H40mm）を構成し、CPUにより、スペクトラムアナライザの制御・受信データ演算・部分放電判定・外部出力を行なっている。スペクトラムアナライザによる監視周波数は、外部ノイズの影響抑制と部分放電検出の信頼性を高めるため、外部ノイズ様相の異なる2つの帯域に分割して（帯域1：300MHz～550MHz、帯域2：550MHz～800MHz）監視を行っている。外部への出力は、シリアル通信・TCP/IPの何れかの通信により上位機器へ伝送する構成としている。また、適用アンテナについては、用途に応じて箱形アンテナ、フィルムアンテナなど多様な種類のアンテナに対応できる構成としている。

3.2 部分放電検出方法とノイズ除去

部分放電検出に用いる電磁波データの取得と判定演算は、絶縁監視モジュールにおいて、商用2サイクル・監視周波数300MHz～800MHzの領域にわたって取得された数万データの中から代表的な1万データを抽出し、この代表データを時間領域・周波数領域において解析する専用アルゴリズムにより実施している。データ取得開始から判定終了までに要する時間は、約6秒と高速処理を実現している。

実変電所において、実際にUHF帯域の部分放電電磁波を検出する場合、検出信号から以下に示す機器周辺の外部ノイズを除去することが不可欠となる。

- ・ 架空送電線や他機器などからの部分放電
- ・ 定常的な放送波などの通信波
- ・ 周辺環境からの突発的ノイズ

従来の外部アンテナを使用したシステム⁽²⁾では、これらのノイズの影響を除去するために、部分放電検出用アンテナのほかに外部ノイズ検出専用のアンテナを用い、部分放電検出用アンテナ信号から外部ノイズ検出用アンテナ信号を差動する方式を採用していた。今回のシステムでは、1つの外部アンテナにより部分放電と外部ノイズを検出し、さらに、システムに入力された商用電圧を用いて、各周波数データを商用電圧2サイクルにおいて同期処理することで外部ノイズを除去し、部分放電検出の信頼性を高めている。

また、同期処理用の商用電圧を使用して、商用信号と部分放電信号の位相関係の確認も可能であり、その位相と部分放電パルスパターンから電気協同研究第44巻第号⁽³⁾に述べられている部分放電源の様相の分類（高压側金属異物、低压側金属異物、絶縁スペーサ沿面金属異物などの欠陥同定）への応用も可能である。

4. 部分放電検出性能の確認

前項で述べた部分放電検出技術による絶縁診断システムについて、GIS実機（屋外77kV三相一括GIS）を用いて発生させた内部部分放電の検出特性を確認した。まず、実験室レベルでの診断波形事例を図4に示す。

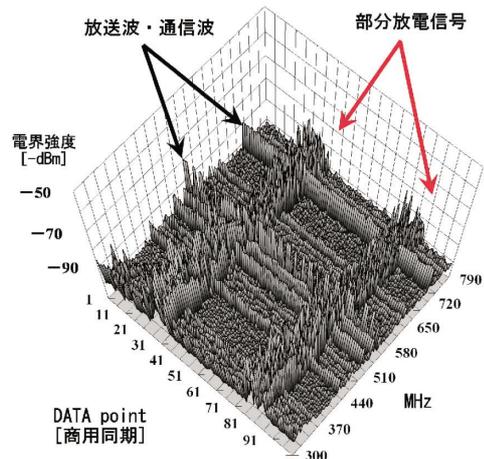


図4 模擬部分放電による診断結果

診断波形（周波数 - 時間解析）は、各周波数信号を商用2サイクルにおいて商用電圧に同期させて取得した部分放電による電磁波信号を3次元グラフ化したものである。内部部分放電が発生している場合には、広帯域にわたって商用同期軸に直交する方向に高レベルの電磁波信号が現れる。なお、図中の特定周波数帯に現れている商用同期軸に連続的に存在する信号は放送波などの通信波である。

次に、屋外GIS実機における診断結果を図6、7に示す。帯域ごとの検出レベルを示したグラフは、商用同期取得した電磁波信号から、専用アルゴリズムを用いて内部部分放電を判定した結果である。図中、赤ライン（PD_LEVEL）は部分放電検出レベル、青ライン（BGN_LEVEL）はバックグラウンドノイズ（dBm）である。なお、内部部分放電は、図5に示すように、B相高压導体に金属異物を付着させ発生させた（放電電荷量：30pC相当）。部分放電電荷量は、現在一般的に採用されているkHz帯域の周波数成分を用いた低周波法であるERA法により測定した。

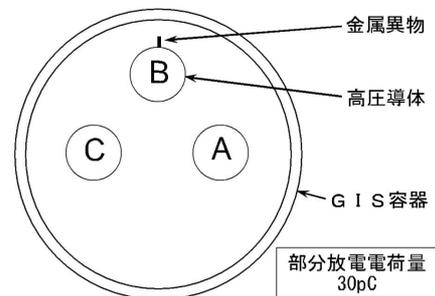


図5 GIS内部部分放電発生源

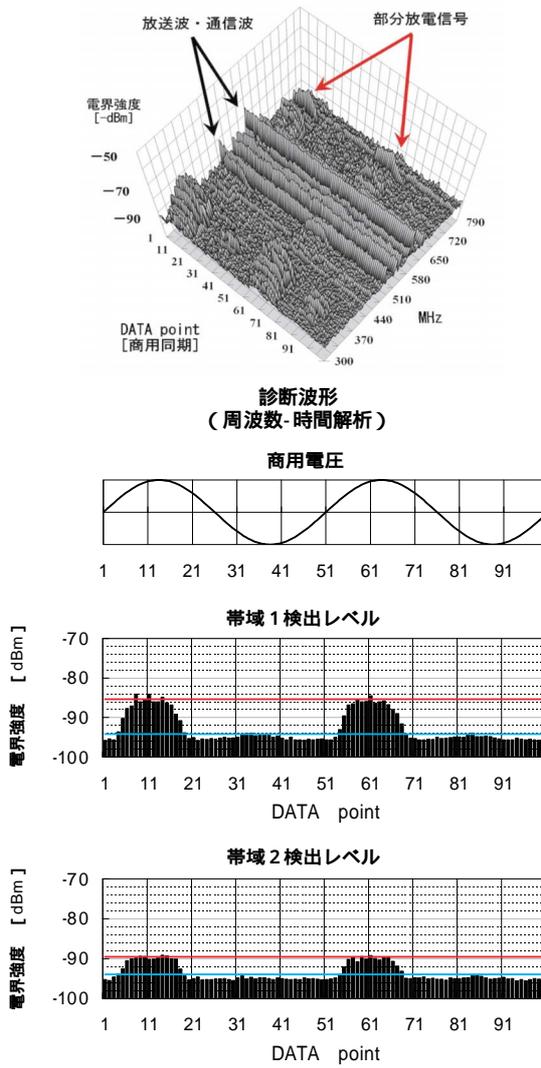


図6 絶縁診断結果 (定常ノイズ+部分放電)

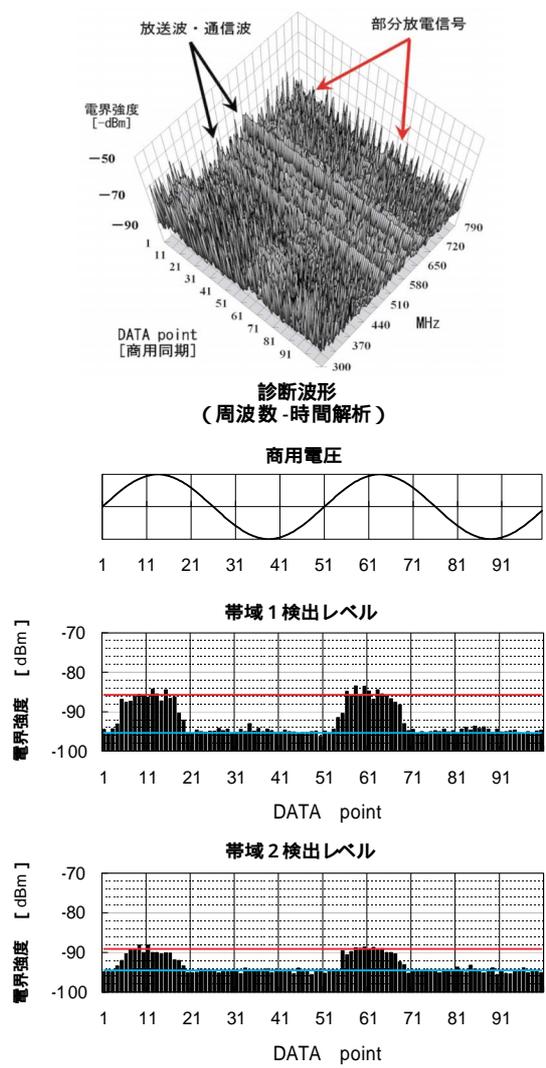


図7 絶縁診断結果 (過大ノイズ+部分放電)

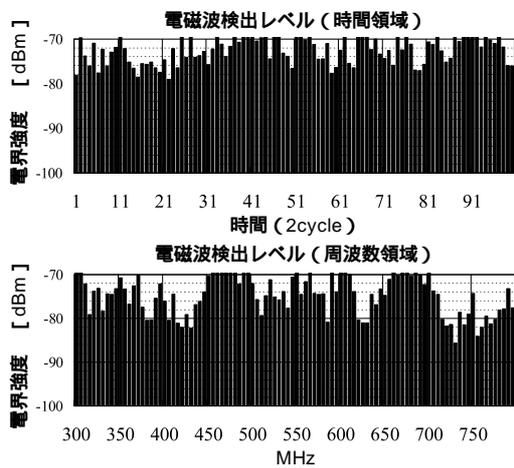


図8 従来方式による診断例 (過大ノイズ+部分放電)

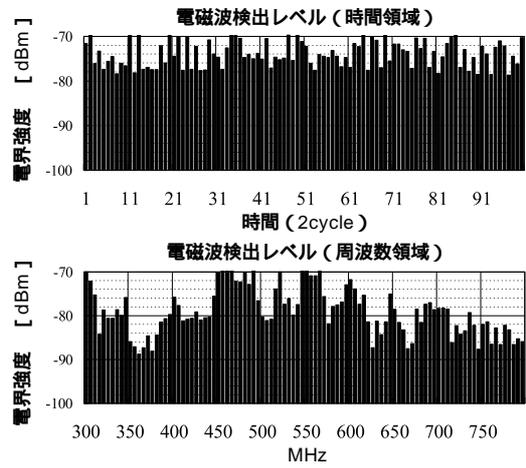


図9 従来方式による診断例 (過大ノイズのみ)

図6は、比較的外部ノイズの少ない定常ノイズ環境下における診断結果である。図から商用電圧に同期した部分放電を良好に検出していることが確認できる。また、電磁波信号レベルが-90dBm以下の部分放電についても長時間のトレンド管理により検出が可能である。

図7は、模擬的に過大ノイズを発生させた環境下における診断結果である。部分放電による電磁波が埋もれてしまう過大ノイズ環境下においても良好に部分放電を検出していることが確認できる。また、電磁波信号レベルが-90dBm以下の部分放電についても長時間のトレンド管理により検出が可能である。

参考として、上記と同一の試験条件において、従来の時間領域法あるいは周波数領域法により診断した例を図8、9に示す。図8が過大ノイズ環境下において発生させた部分放電を測定した例であり、図9が過大ノイズのみの環境（部分放電なし）を測定した例である。図8、図9とも類似した波形となっており、部分放電の判定が困難であることが確認できる。

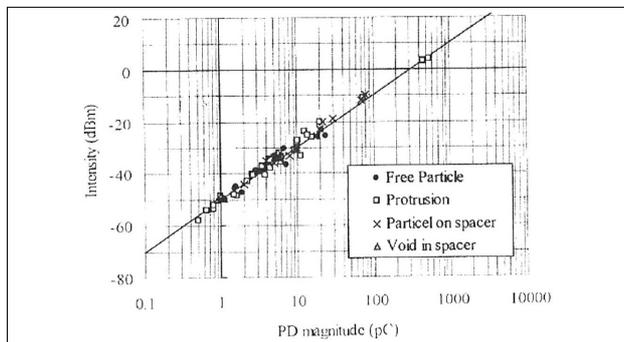


図10 UHF方式による部分放電校正曲線の例⁽¹⁾

また、今回部分放電電荷量の校正はERA法により行なった。部分放電電荷量の校正は、絶縁診断において最も重要な項目であり、必須な技術の一つである。今後、UHF帯域を使用した電磁波検出方式の確立のためには、UHF方式における部分放電電荷量校正直線を求めることが重要とな

る。すなわち、図10⁽¹⁾に示す電気学会技術報告第982号⁽¹⁾に述べられている「放電電荷量 (pC) - 電磁波レベル (dBm)」の相関関係を得ることが必要不可欠となる。

今回は三相一括形GISを診断対象とした。相分離GISやGILのように電磁波に対して同軸円筒型の導波路となる機器を診断対象とする場合、この内部を伝搬する電磁波は、TEM、TE、TMの各モードを持つことが一般的に言われている。これらのモードはいずれも固有の特徴をもっており、どのモードを観測するかによりセンサ（アンテナ）の配置、感度が異なると考えられる。この電磁波モードの概念を三相一括形GISに適用することも絶縁診断技術向上の一つと考えられる。

5. あとがき

ガス絶縁変電機器において、部分放電検出技術は非常に重要な技術である。今回、低コストタイプのスペクトラムアナライザを用いた過大ノイズ環境下においても確実に部分放電を検出可能な電氣的検知手法（電磁波検出方式）による技術について、GISへの適用例を紹介した。今後は、以下の項目について実施していく所存である。

- ・放電電荷量と電界強度の特性解析
- ・GIS用アンテナの特性向上
- ・絶縁診断システムの確立
- ・可搬型絶縁診断装置への展開
- ・VHF帯監視技術の確立
- ・GIS以外の変電機器適用

参考文献

- (1) 電気学会技術報告第982号「ガス絶縁機器における部分放電現象と検知技術の最新動向」2004
- (2) 日新電機技報Vol.40、No.3「GIS用予測保全装置・事故点標定装置」1995
- (3) 電気協同研究第44巻第2号「ガス絶縁機器の信頼性向上策」1988

執筆者紹介



岡田直喜 Naoki Okada
技術開発研究所システム研究センター
電力機器監視制御第1グループ主任



保戸田悦生 Etsuo Hotoda
技術開発研究所システム研究センター
電力機器監視制御第1グループ



大木秀人 Hideto Oki
技術開発研究所システム研究センター
電力機器監視制御第1グループ長