

GISへのセンサ技術適用 — 部分放電診断の最新技術 —

田村佳之*
藤井茂雄*
西田智恵子*

Sensor Technologies Application to GIS—Advanced Technologies for Partial Discharge Diagnostics—
Yoshiyuki Tamura, Shigeo Fujii, Chieko Nishida

要 旨

1980年代、電力会社の変電部門ではセンサを利用した機器監視システムの適用が始まり、ガス絶縁開閉装置(GIS)の絶縁異常の発見を目的として部分放電診断が導入された。導入当初は部分放電現象の研究の過渡期であり、現在の評価では比較的大きな放電電荷量である浮き電極放電(100pC以上)だけが検出できる感度であった。

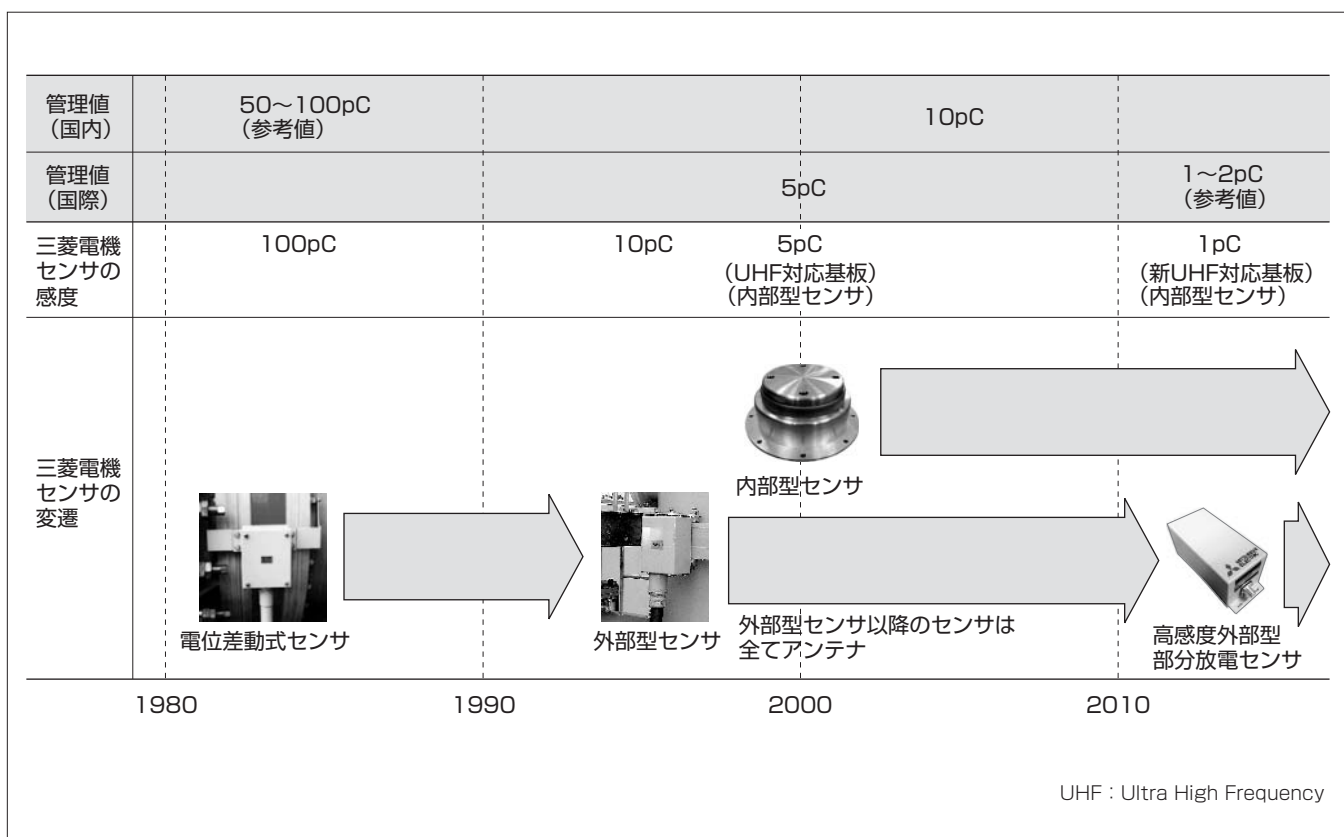
それ以降、部分放電現象の解明が継続して進められ、センサの高感度化、信号処理の高性能化開発が行われてきた。その結果、現在では電荷量 1 pCの放電現象まで検出することができるようになった。

管理基準・管理推奨値も部分放電現象の解明が進むにつれて強化され、2013年発行のCIGRE (Conseil International des Grands Reseaux Electriques) WG D1.03(TF09),

“Risk Assessment on Defects in GIS based on PD Diagnostics”では1～2 pCの放電現象の検出の必要性が提示されている。

部分放電監視技術は、単に感度の向上だけでなく、システムとしてのノイズ対策、放電発生位相確認による部分放電検出の確度向上及び放電源の推定開発も進められている。

先に述べた 1 pCの高感度部分放電監視システムは、内部型センサを用いたシステムであるが、既設GIS用として内部型センサとはほぼ同じ感度の高感度外部型部分放電センサと吸着剤ケース一体型部分放電センサも開発した。経年30年を超えるいわゆる高経年機器が今後増加していく中で、高経年機器の絶縁診断としてもこの部分放電監視システムを活用していくことが望まれる。



GISの絶縁性能管理値と部分放電センサの変遷

GISの部分放電はコロナフリーの考えであるが、研究によって起こり得る放電電荷量が求められ、試験規格値や管理推奨値が定められる。この値は年々小さくなってきている。それに合わせた部分放電センサと信号処理の開発で、検出感度を向上させてきた。

*系統変電システム製作所

1. ま え が き

1980年代、機器監視システムへのセンサ技術の適用が始まり、絶縁異常の発見を目的としたセンサを用いた部分放電診断が導入された。当初は部分放電の現象が深く究明されていなかったこともあり、部分放電の現象を検出するセンサも感度の良いものではなかった。

その後、部分放電に関する様々な研究が続けられ、現象の究明、センサの開発、センサ信号処理の開発が進み、近年では1 pCの部分放電現象をも検出できるようになった。システム面でもn-q-φ-t(n:部分放電の数, q:大きさ, φ:発生位相, t:時間)情報から部分放電の有無と発生源をより正確に判定できるようになっている。

本稿では、2章で部分放電センサ技術と管理値の推移について、3章、4章で部分放電センサと部分放電監視システムの最新技術について述べる。

2. 部分放電センサ技術と管理値の推移

部分放電診断の導入期は、検出センサとして加速度センサ及び電位差動式センサが採用された。加速度センサは部分放電で発生するタンク振動を検出する目的で採用された。電位差動式センサはフランジ絶縁部両端に電極を取り付け、部分放電発生に伴うフランジ間の電位差を検出するセンサである。検出感度はともに100pC前後であったが、当時の知見では十分に部分放電の検出が可能であると考えられていた。例えば、一般社団法人電気協同研究会(電協研)1990年発行の電気協同研究第46巻第4号では、各実験による部分放電の検出事例が掲載されており、50~100pCの感度があれば十分と理解できる。

その後、電位差動式センサはより高感度を目指して、フランジ絶縁部に取り付けて絶縁部から漏洩(ろうえい)する電磁波をアンテナで検出する方式に変更した。このセンサは、後に述べる内部型センサと対比して外部型センサと称している。さらに、高感度を目指してGIS内部へのセンサ配置を検討した。分圧型センサは、GIS内部に取り付けられ、部分放電に伴う導体電位変動をコンデンサ分圧によって検出するセンサである。信号検出の帯域は広いが、信号としてUHF帯しか使用しなくなったこと及び中間電極の抵抗接地点が必要なことから、平面アンテナ式の内部型センサに置き換わった。平面アンテナ式の内部型センサは、現在の部分放電検出における標準となっている。

一方、振動を検出する加速度センサはAE(Acoustic Emission)センサに置き換えられて高感度化されたが、電磁波検出方式と比較すると感度が劣るため、主にGIS内を挙動する自由異物の検出用に役割が変化している。

センサの高感度化は、単にセンサの変更だけでは成し得ず、センサに合わせた信号処理技術の開発も必要である。

表1. 限界異物長と放電電荷量⁽¹⁾

type of defect	critical defect	
	length	apparent charge according to IEC60270
moving particle	3 ~ 5 mm	2 ~ 10pC
protrusion on HV conductor	around 1 mm	1 ~ 2 pC
protrusion on enclosure	4 ~ 6 mm	2 pC
particle on insulation	1 ~ 2 mm	about 0.5pC
void	3 ~ 4 mm (diameter)	1 ~ 2 pC

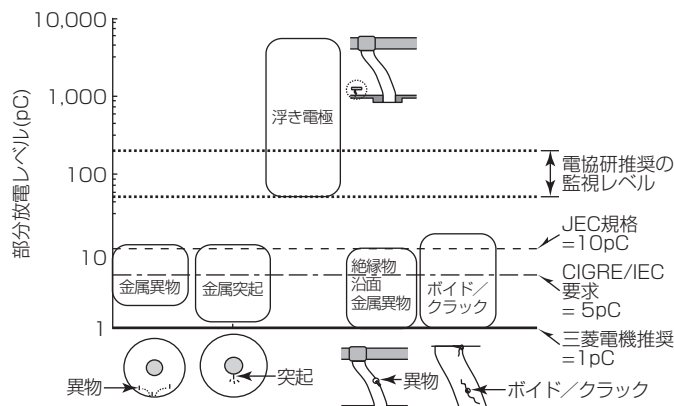


図1. 運用GISでの部分放電電荷量

センサがアンテナに変わったことによって、取り扱う信号の周波数は高くなった。電位差動式センサの場合は、信号の周波数は数MHzからVHF(Very High Frequency)帯(~300MHz)へ移行し、さらにUHF法^(注1)の登場でUHF帯(500~1,500MHz)又はそれ以上の周波数へと移行している。

部分放電試験規格では、JEC2350(2005年)で従来参考試験とされていた部分放電試験が形式試験項目として規定された。この規格では、部分放電が雑音レベル以下であること、雑音レベルは10pC以下が望ましいとされている。

国際的な動向では、CIGRE報告から採用されたIEC62271-203で5 pCを規定している。また、表1に示すように2013年CIGRE報告で、1~2 pCの必要性が提示されている⁽¹⁾。

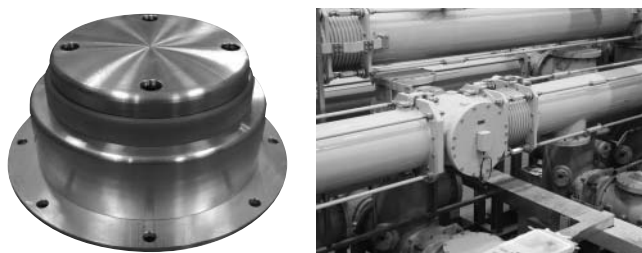
部分放電の研究が進むにつれ、管理推奨基準はより低い放電電荷量側に更新される傾向にある。

図1に、実運用されているGISの部分放電電荷量についての当社の検証結果を示す。部分放電診断導入期の検出能力であった50~100pCは浮き電極放電だけを検出できる能力であったが、最新のセンサ技術では全ての部分放電を検出できるまで検出能力が向上している。

(注1) 従来のVHF帯以下の周波数は外部ノイズが多く、部分放電を検出するためにノイズの少ないUHF帯を使用するという手法

3. 部分放電センサ

現在は、部分放電を検出するためのセンサとしてアンテナが主流となっている。ここでは、現在の主力センサである内部型部分放電センサを述べるとともに、既設の高経年機器を対象とした外部型部分放電センサについて述べる。



(a) 内部型部分放電センサ (b) 搭載GIS

図 2. 内部型部分放電センサと搭載GIS

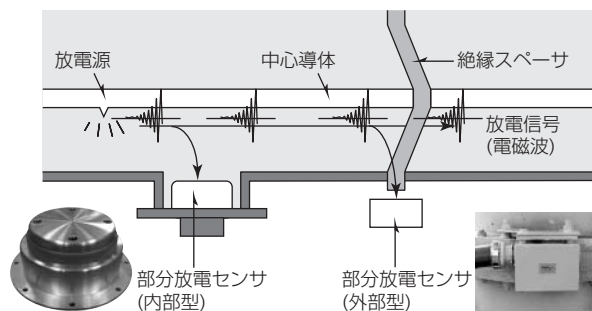


図 3. 部分放電センサの検出原理

3.1 内部型部分放電センサ

図 2(a)に内部型部分放電センサを示す。GISの枝管部に取り付け(図 2(b))、高感度に部分放電信号を検出するセンサである。平面アンテナであり、部分放電に伴うUHF帯の電磁波を検出する。分圧型センサと形状は似ているが、コンデンサ分圧で部分放電を検出するのではなく、アンテナとして部分放電を検出する(図 3)。

3.2 既設GIS用部分放電センサ

部分放電センサをGIS内部に設置することは、放電源に近く、かつ、外部ノイズの影響を受けにくいことから検出感度向上が期待できる。しかし、取り付け部位を確保する必要があり、既設GISへの適用はできなかった。このため、既設GIS用として使用できるセンサを開発した。

(1) 高感度外部型部分放電センサ

部分放電による電磁波をGIS外部から検出するには、絶縁スペーサ部にアンテナを取り付ける方法が有効である。当社もアンテナを絶縁スペーサ部に取り付け、GISの部分放電診断を行ってきたが、内部型センサに比べると感度が落ちるため、より高感度な外部型センサを開発した。

図 4 に高感度外部型部分放電センサの外観を示す。センサは絶縁スペーサ部に取り付ける。アンテナ部は周波数でインピーダンスが変化しない自己補対型を採用し、フランジ部で発生する電界を効率良く検出できる構造とした。感度は、外部型にも関わらず内部型部分放電センサとほぼ同じ値を示した(500~1,500MHzの平均実効高さの評価)。湾曲部は絶縁スペーサ部の径に合わせて加工され、ノイズの侵入を低減している。このセンサは既に海外での既設GIS用部分放電監視システムに採用されている⁽²⁾。



図 4. 高感度外部型部分放電センサ



(a) 吸着剤ケース一体型部分放電センサ (b) 搭載GIS

図 5. 吸着剤ケース一体型部分放電センサと搭載GIS

(2) 吸着剤ケース一体型部分放電センサ

図 5(a)に吸着剤ケース一体型の部分放電センサの外観を示す。GISの水分管理に必須となる吸着剤用のケースにアンテナ機能を一体化したものである。センサの取付け場所を新たに確保する必要がなく、既設GISにも搭載が可能である(図 5(b))。検出部はスリットアンテナと呼ばれるアンテナで、感度は内部型センサに比べて80~100%の感度を持つ。構造的にGIS内部に設置されるため、外部ノイズの影響も受けにくい⁽³⁾。

これらのセンサを用いることによって、新設GISだけではなく既設のGISにも高感度部分放電診断システムを構築できるようになった。センサは全てアンテナであるので、信号処理は内部型部分放電センサと同じものを適用できる。

4. 部分放電監視システム

当社がこれまで開発・製品化を行ってきた部分放電監視システムの構成と主要機能について述べる。

4.1 システム構成例

図 6 に部分放電監視システムの構成例を示す。部分放電監視を行う上で重要になるのは、ノイズとの分別である。部分放電監視システムを据え付ける場合は、事前に現地でのノイズ測定を実施する。ノイズ測定で確認するのは主に通信電波の有無であり、強い通信電波が確認される変電所では、センサ信号にフィルタをかけ通信周波数だけ除去する。

センサ信号は同軸ケーブルで現地に設置されたセンサ信号処理ユニットに送られる。センサ信号処理ユニットはセンサ信号と課電電圧の位相情報から1秒ごとに部分放電の数、大

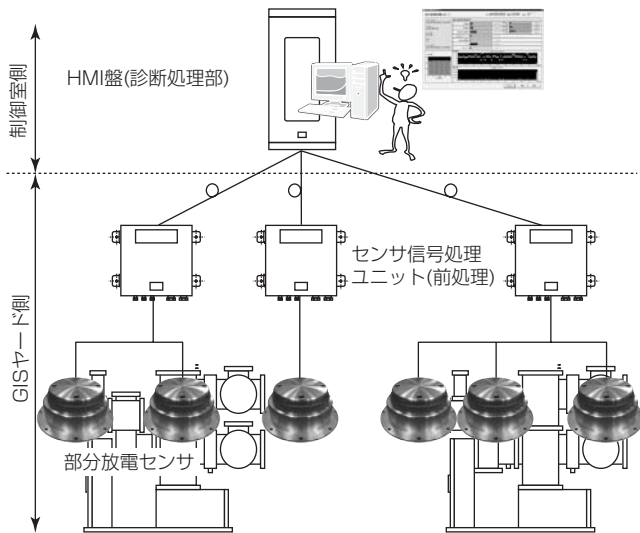


図6. システム構成例

きさ及び発生位相の情報をデジタル信号に変換し、光通信で上位のHMI(Human Machine Interface)盤内に送る。HMI盤は、各センサで検出した部分放電信号を判定し、部分放電発生と判断した場合はアラームを出力する。HMI盤では、部分放電発生状況を様々な方法で表示し、人間の診断支援も行う。

4.2 機能

(1) ノイズ対策

定常的に発生する通信電波はフィルタで除去できるが、移動無線等の一時的な通信電波に対しては、(3)のエキスパート機能の一部を活用してリアルタイムでアラーム対象から外すこともできる。

(2) 部分放電情報表示

部分放電診断の導入期は、単に検出した信号の数だけで部分放電発生判定が行われていた。現在のシステムでは、先に述べたフィルタでのノイズ除去を実施した後、 $n-q-\phi$ 情報に t (時間)情報を組み合わせて様々な形で表示することで総合的に部分放電の診断を支援可能となり、部分放電判定の信頼度は各段に向上している。図7に画面例を示す。下段は $q-\phi-t$ の組合せ、中段は $q-\phi-n$ 、上段は $n-\phi$ と F (ゆらぎ)の組合せ表示である。部分放電を、位相特性や電荷量から多角的に判断可能である。

(3) エキスパートシステム

アラームが発生した場合に、部分放電の数、電荷量、発生位相、及びその変化傾向から、どのような部分放電が発生しているのか、及び放電源を推定することも可能である。図8に、絶縁物沿面異物での診断結果例を示す。放電源の推定は%で表示され、絶縁物沿面異物の数値が80%と最も確率が高いことを示している。

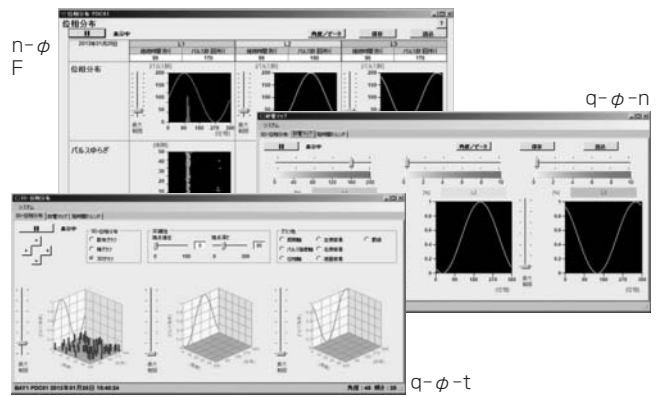


図7. 画面例

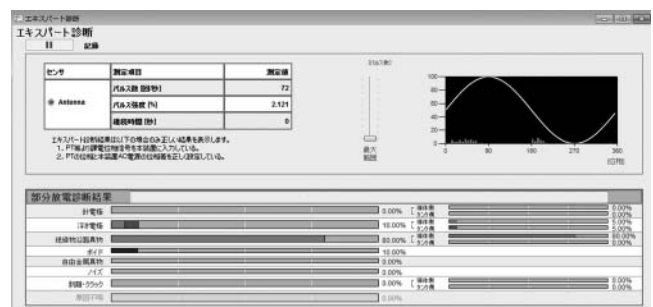


図8. エキスパートシステムの診断結果例

5. むすび

機器監視システムへのセンサ技術適用導入期は、浮き電極部分放電の検出能力しかなかったと考えられるが、放電現象の解明が進み、診断技術も向上した現在では1 pCの検出能力を持ち、各種の部分放電を検出することができるようになった。

部分放電信号については、放電信号の数、大きさ、発生位相などの情報からノイズとの分別や放電源の推定も行え、診断の信頼性を上げている。

既設GISに取り付け可能な高感度センサの開発も完了しており、今後増加する高経年機器の絶縁監視にも役立てることが期待される。

参考文献

- (1) CIGRE WG D1.03(TF09) (TB No.525) : Risk Assessment on Defects in GIS based on PD Diagnostics (2013)
- (2) 伊藤隆史, ほか: GIS用外部形UHF部分放電センサの開発, 電気学会全国大会予稿, 6-316 (2012)
- (3) 伊藤隆史, ほか: 吸着剤ケース一体形部分放電センサの開発, 電気学会全国大会予稿, 6-252 (2014)