

汚損碍子の放電騒音及び電磁波観測による放電状態の評価

坂田 卓章¹⁾・松本 慎吾¹⁾・中山 新吾²⁾・辻 利則³⁾・大坪 昌久⁴⁾・本田 親久⁴⁾
中原 洋一⁵⁾・野口 博志⁶⁾

Evaluation of the Partial Discharge by the Observation of the Noise and the Electromagnetic Wave on the Polluted Insulator

Takatoshi SAKATA, Shingo MATSUMOTO, Shingo NAKAYAMA, Toshinori TSUJI,
Masahisa OTSUBO, Chikahisa HONDA, Youichi NAKAHARA, Hiroshi NOGUCHI

Abstract

The surface of the insulator of the transmission power line is polluted by the adhesion of the sea salt. In addition, it is condition according to a fog, a rainfall, and high humidity, etc. in the field. Then partial discharge might be generated. The noise complaints by partial discharges etc. have been generated, too. Therefore, understanding the amount of generation, and examining the influence by the voltage of the division and the amount of the contamination of the insulator become important. This time, the insulator for 66kV is stained and the electrical discharge sound wave and the electromagnetic wave according to the partial discharge generation were observed. The electromagnetic wave according to a partial discharge was able to analyse by removing 5MHz or less of frequency component.

Key Words :

Partial discharge, Insulator pollution, Noise, Electrical discharge sound wave,
Electromagnetic wave

1. はじめに

電気エネルギーに対する需要は、国民生活の向上や産業の高度化に伴い増加を続け、それを伴うための原子力発電所など大容量電源の建設地点は、大都市などの需要力遠隔化する傾向にある。そのため、電力輸送設備としての送電線に対しても大容量、長距離化が進められている。

一方、このような送電系統の高圧化、大型化に伴い、

送電線による騒音（コロナ騒音・風騒音）や電波障害（ラジオ雑音・テレビゴースト）、静電誘導、景観影響などについての対策も重要となる送電線設備数の増加、沿線の住宅化、環境問題に関する十分な配慮が必要となってきた¹⁾。

しかし、現在の騒音測定方法では機材を置くための観測小屋の設置、100V電源の確保、測定データの回収の現場作業が必要となっている。

そこで本研究では、巡視・点検業務の自動化のための簡易ながいし放電音監視システムの開発に関する研究として、がいし放電音発生メカニズムの解明及び監視システムの開発の基礎研究を目的としている。

本稿では、66kV用懸垂碍子を汚損させ、交流電圧を印加し、部分放電発生に伴う放電音及び電磁波、接地線電流を測定、解析を行ったので報告する。

- 1) 宮崎大学 電気電子工学専攻大学院生
- 2) 宮崎大学 電気電子工学科学部生
- 3) 宮崎公立大学 人文学部助教授
- 4) 宮崎大学 電気電子工学科教授
- 5) 九州電力株式会社 総合研究所
- 6) 九州電技開発株式会社

2. 碍子放電音の波形解析

2.1 実験方法

66kV 用懸垂碍子を汚損させ、交流電圧印加時の部分放電に伴い発生する放電音を測定した。図 1 に実験装置の配置を示す。66kV 用懸垂碍子を用いて、交流電圧(60kVrms, 周波数: 60Hz)を碍子下部より印加し、汚損液(との粉 40g/l, 塩 20g/l)により汚損させた碍子表面に部分放電を発生させ、それに伴う放電音を騒音計(NL-31)により測定した。この場合、騒音計の位置を碍子より 1m の位置とした。

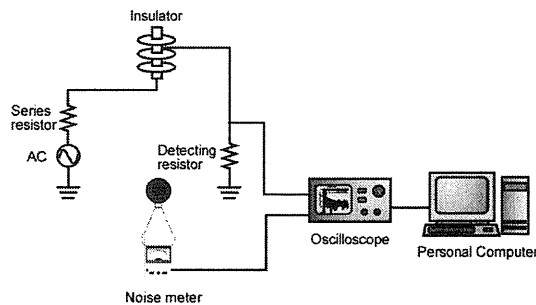


図 1 実験装置配置.

2.2 実験結果

碍子放電音は、部分放電が生じる商用周波数(60Hz)の 2 倍の 120Hz 間隔で生じるが、実際の屋外の碍子放電音観測においては外部ノイズが重畳されるため、観測した音波から外部ノイズの除去を行い、碍子放電音を抽出する必要がある。

外部ノイズ除去方法としては、碍子放電音が単発で生じる不連続信号であるため、時間 - 周波数解析を行う必要があり、短時間フーリエ解析、またはウェーブレット解析を用いる必要がある。短時間フーリエ解析は、周波数の分解能力に優れており、ウェーブレット解析は時間領域での動態検出に優れているものである。ここでは時間分解能に優れたウェーブレット解析を使用した。

図 2 に測定した音波、図 3 にそのスペクトル強度分布を示す。図 2 の波形から 60Hz で生じる部分放電による強い振動が観測されている。一般に部分放電は、商用周波数の整数倍で生じるが、部分放電が生じる箇所の状態に依存するため、今回の部分放電は、片方の電極が碍子の金属部近傍で不平等な電界分布となり、強い放電と弱い放電が繰り返し生じ、強い部分放電のみが、放電音として観測されていると思われる。図 3 の

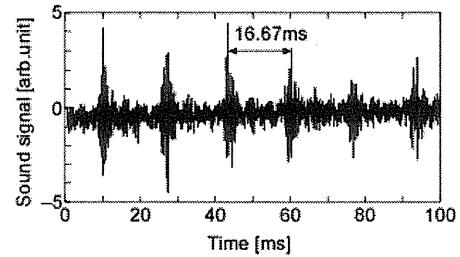


図 2 碍子放電音波形.

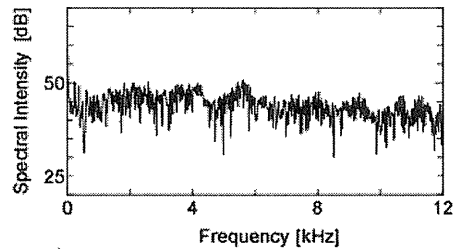
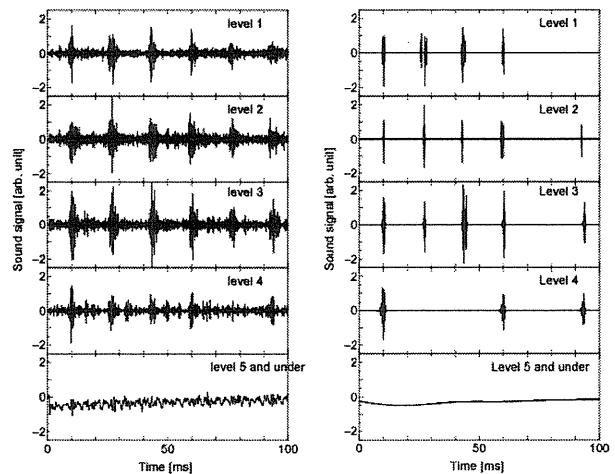


図 3 スペクトル強度分布.

碍子放電音の FFT 解析によるスペクトル強度分布からは、広い帯域に分布し、1kHz~6kHz の帯域付近で少し強くなっている。



(a) ウェーブレット変換 (b) ウェーブレット変換 (ノイズ除去)

図 4 碍子放電音波形のウェーブレット変換波形.

碍子放電音の観測波形より、部分放電による信号を抽出するためにウェーブレット変換を行い各レベルに分解した波形を図 4(a)に示す。本報告でのウェーブレット変換では、Daubechies10²)を用いている。各レベルの中心周波数の目安は、レベル 1: 15kHz, レベル 2: 7.5kHz, レベル 3: 3.7kHz, レベル 4: 1.8kHz であり、レベル 5 はそれ以下の周波数帯の波形である。ウェーブレット変換を行った図からも碍子放電音はレベル 1 からレベル 4 の広い帯域に分布していることが分かり、

レベル 2,3 の帯域で大きいことが分かる。

ウェーブレット変換では、求めた各レベルの展開係数を用いてノイズを除去し、碍子放電音を抽出することができる。レベルごとに分解した波形からノイズ除去を行った。図 4(b)に各レベルで閾値を求めて、それ以下の展開係数を 0 とし、再構成した波形を示す。ノイズ除去を行うことにより、部分放電による放電音の検出が明確になり、ノイズとの分離が可能であることが分かる。レベル別に見るとレベル 4 においては他のレベルに比べ検出感度が低くなっていることが分かるが、ある一定以上の強さであればレベル 1~レベル 4 の全領域で碍子放電音の検出が可能である。

これらのことから今回観測した音波に含まれる外部ノイズ(虫の声など)の帯域はウェーブレット変換によるレベル 2, 3 の周波数約 2.5kHz (レベル 3 とレベル 4 の中心周波数の平均)以上の帯域で強く、風騒音については、これまでの計測で 1kHz 以下で観測されている³⁾。よって 1kHz~2kHz の帯域において、虫の声や風騒音の外部ノイズは小さく、検出したい碍子放電音は観測可能と思われる。

3. 部分放電に伴う電磁波の減衰測定

3.1 実験方法

アンテナの測定位置(距離)と伝搬電磁波の強度の関係を調べることにより、本実験で用いた VHF アンテナの非接触測定の有効性を確かめる実験を行った。

図5に実験装置配置を示す。6.6kV用耐張碍子を用いて、商用周波数60Hzの交流電圧10kVrmsを碍子下部より印加し、との粉により一部を汚損させた碍子表面に部分放電を発生させ、それに伴う電磁波をVHFアンテナを用いて各5回測定した。またアンテナ-碍子間の距離を0.5m~2.5mと変化させ、同様の測定を行った。電

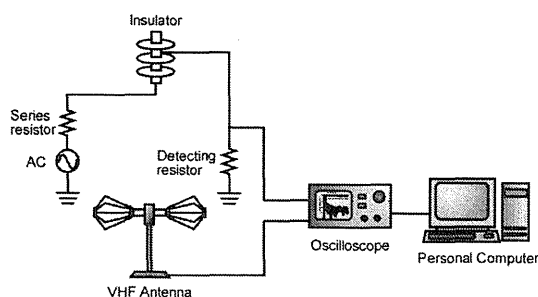


図5 実験装置配置。

磁波及び接地線抵抗($R=51\Omega$)に流れる接地線電流はオシロスコープ(OSC, YOKOGAWA, DL1640)で測定し、パソコンに取り込み、解析を行った。今回はOSCのサンプリング数を100MS/sとし、測定した電磁波の波形をウェーブレット変換によって解析した。

3.2 実験結果

図6に、アンテナ-碍子間の距離を0.5mとして測定した電磁波と接地線電流の波形を示す。図中のおよそ8msまでが正サイクル、それ以降が負サイクルにおけるコロナ放電の波形である。正サイクルのように放電電荷量の大きなコロナ放電では、強度に対応した電磁波の発生が観測されている。しかし、負サイクルのような放電電荷量の小さなコロナ放電では、強度に対応した電磁波はバックグラウンドノイズの強度とほぼ同じで観測することが困難であった。

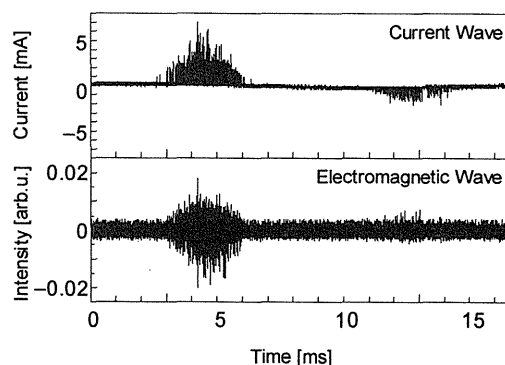


図6 測定波形。

そこで測定した電磁波をウェーブレット変換を用いて波形分離を行った。部分放電に伴う電磁波と25MHz以下のバックグラウンドノイズの分離を行い、電磁波の測定位置による減衰を調査した。また今回のウェーブレット変換にはDaubechies⁴⁾を用いた。

図7, 8にそれぞれ正サイクルと負サイクルにおける放電部から測定位置までの距離と電磁波強度の関係を示す。ウェーブレット解析に25MHz以下のバックグラウンドノイズ除去を行い、閾値を設け、その閾値を超えるものを部分放電に伴う電磁波とし、各サイクルにおいて強度の平均値と最大値を求めた。また、閾値はノイズレベルの1.1倍に設定している。正サイクル、負サイクルともに測定距離が離れるとともに電磁波の強度が減衰していることが分かる。

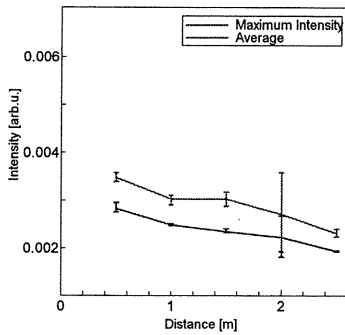


図7 正サイクルにおける距離と電磁波強度の関係.

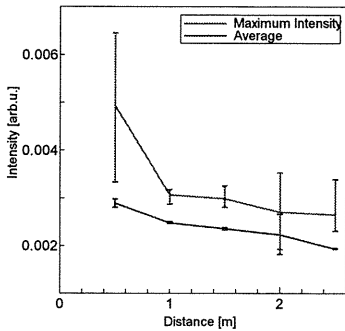


図8 負サイクルにおける距離と電磁波強度の関係.

このことから部分放電に伴う電磁波を測定し、電磁波強度の減衰特性を確認することができた。また、測定対象からアンテナが離れても部分放電に伴う電磁波を観測できていることから、VHFアンテナを用いることで非接触による部分放電の測定が可能であることを確認した。

4. 部分放電に伴う電磁波の観測

4.1 実験方法

66kV用懸垂碍子を汚損させ、交流電圧印加時の部分放電に伴い発生する電磁波及び接地線電流を測定した。図9に実験装置の配置を示す。66kV用懸垂碍子を用いて、交流電圧(10~60kVrms, 周波数: 60Hz)を碍子下部より印加し、汚損液により全体を汚損させた碍子に部分放電を発生させ、それに伴う電磁波をVHFアンテナを用いて測定した。電磁波及び接地線抵抗($R=51\Omega$)に流れる接地線電流はオシロスコープ(OSC, YOKOGAWA, DL1640)で測定し、パソコンに取り込み、解析を行った。今回はOSCのサンプリングを200MS/s, アンテナの測定位置を放電発生位置から1m, 懸垂碍子を3個連とした。

また汚損濃度を以下のように変化させた。との粉40g/lを一定とし、塩分濃度を軽汚損(3g/l), 中汚損(6g/l), 重汚損(12g/l)として、各塩分濃度と印加電圧10~60kVrmsを変化させ、それぞれ2回測定を行った。

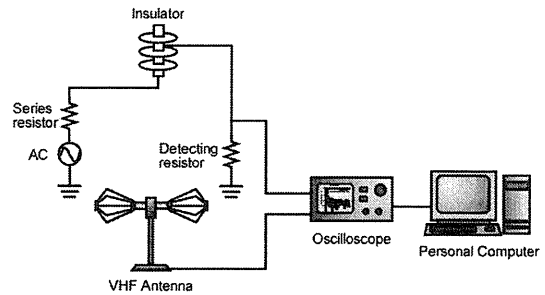
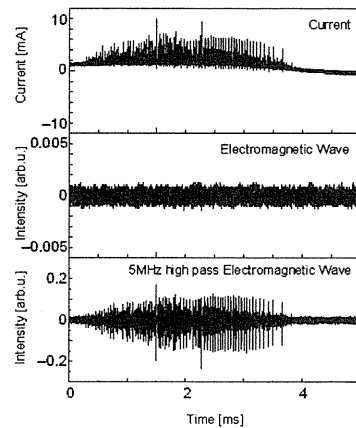


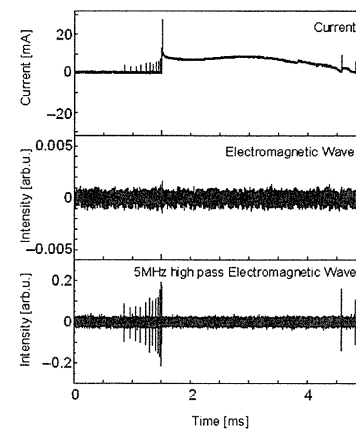
図9 実験装置配置.

4.2 実験結果

図10の上から2つに軽汚損20kVrms印加時に測定したコロナ放電と局部アーク放電の電磁波と接地線電流波形を示す。アーク放電電流の急峻で電流値の大きな



(a) コロナ放電波形



(b) アーク放電波形

図10 測定波形とノイズ除去後の波形.

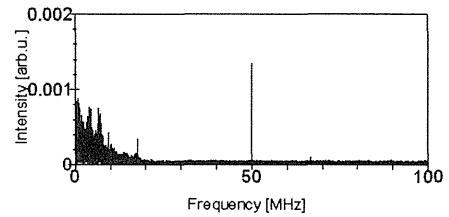
立ち上がりに対応して微弱な電磁波の変化は見られるが、コロナ放電、アーク放電ともにバックグラウンドノイズに埋もれて放電に対応した電磁波を確認することが困難であった。

そこで各電磁波の波形をFFT解析を行い、測定した電磁波の各周波数帯の強度を調べることで、部分放電に伴う電磁波の周波数帯を確認した。各測定電磁波のFFT解析結果を図11に示す。コロナ放電による電磁波の周波数帯5MHz, 7MHz, 10MHz, 18MHz, 50MHz付近で大きな強度が見られた。またアーク放電は7MHz, 10MHz付近で大きな強度が見られた。これによりコロナ放電、アーク放電ともに5MHz以下のバックグラウンドノイズを除去することにより、部分放電に伴う電磁波とバックグラウンドノイズとの分離を行うことが出来るのではないかと考えられる。

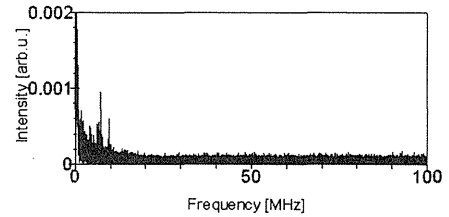
図10の下部に5MHz High Pass Filterを通した各波形を示す。接地線電流の変化に対応した電磁波の変化が見られるようになってきていることが分かる。またアーク放電の急峻な電流の立ち上がりの後の緩やかな立ち下がりに電磁波の変化が見られないのは、電界及び磁界の変化が大きくないためである。このことからアーク放電に伴う電磁波は急峻な電流が流れる場合に強度が大きく見られることが分かる。これらのことから懸垂碍子の部分放電に伴う電磁波は5MHz以下をノイズ除去することによりバックグラウンドノイズと部分放電発生に伴う電磁波に分離することが出来ることが分かった。

そこで同様のノイズ除去を行い測定した波形を解析した。ノイズ除去を行った電磁波波形に閾値を設け、その閾値を超えるものを部分放電発生に伴う電磁波とし、コロナ放電とアーク放電において電磁波パルス強度とパルス数を求めた。同時に測定していた接地線電流より放電電荷量を求めた。アーク放電の電荷量に関してはコロナ放電と同様に急峻に立ち上がるパルスの電荷量を計算した。求めた放電電荷量と電磁波との比較検討を行った。

図12に測定した半周期の総放電電荷量と電磁波パルス数の関係を示す。これよりコロナ放電、アーク放電ともに総放電電荷量が増加すると電磁波パルス数も増加していることが分かる。これは部分放電に伴う電磁波は放電パルスに対応して発生しているので、放電パルス数が増加すれば、その合計である総放電電荷量も増加することを示している。

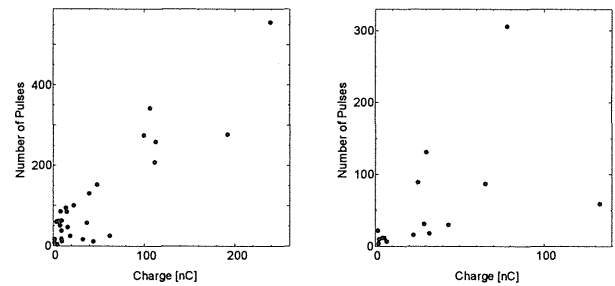


(a) コロナ放電



(b) アーク放電

図11 FFT解析結果.



(a) コロナ放電

(b) アーク放電

図12 総放電電荷量と電磁波パルス数の関係.

4. まとめ

碍子汚損に伴う部分放電音はある一定以上の強さであればノイズ除去することで検出可能であった。

また部分放電に伴う電磁波は放電電荷量の小さな放電初期状態からノイズ除去を行うことで検出が可能であった。

このことから放電音と電磁波を用いることにより碍子汚損による放電状態を判別できることがわかる。

参考文献

- 1) 福島充男:「送電線のコロナ雑音」, 電中研報告, 総合報告:T01 (1986)
- 2) 榊原:「ウェーブレットビギナーズガイド」, 東京電機大学出版局 (1998)
- 3) 池田, 他:「高強度耐塩用がいし連から発生する風騒音の低減技術」, 電学論 B, Vol.123, No.3, pp.374-381 (2003)