

配電機器内部で生じた部分放電による放射電磁波特性

白浜 優吾^{a)}・中村 友哉^{a)}・川小根 光輝^{a)}・迫田 達也^{b)}

Characteristics of Electromagnetic Wave Emitted by Partial Discharges in Electric Power Distribution Equipment

Yugo SHIRAHAMA, Tomoya NAKAMURA, Mitsuki KAWAKONE, Tatsuya SAKODA

Abstract

To diagnose electric power apparatus under system in operation, to detect partial discharge (PD) which refers predictive phenomenon on insulation deterioration of the power apparatus is useful. An electromagnetic (EM) wave sensor technique is widely accepted for the detection of PDs. We installed a PD source in a 6.6 kV mold transformer tank, and we evaluated influence of the aperture size on secondary terminal box. EM waves owing to the PDs were measured from the outside of the tank by an EM sensor. It was possible to discriminate between discharge and noise by focusing on the frequency peak ratio between 20 - 45 MHz band and 50 MHz although the intensity decreases.

Keywords: Electromagnetic wave sensor, Mold transformer, Partial discharge

1. はじめに

高度情報化社会には、高品質の安定した電源が強く求められている¹⁾。一方、寿命限界まで電力機器を使用し、メンテナンスコストを削減することが望まれる。このような観点から、運転中の電力機器や配電系統に適用可能な劣化診断・監視技術の確立が急務である²⁾。変圧器も安定した電力供給に重要な役割を果たしている。しかし、設置され30年以上経過しているものも存在し、機器の絶縁劣化が懸念されている。変圧器の劣化は過電圧、吸湿、過負荷、およびPD (Partial Discharge) によって引き起こされる。PDは絶縁破壊の前駆現象といわれ、PDの活線診断によって絶縁状態を評価することで電氣的故障を未然に防止することが可能である。

PDによって生じた広帯域の周波数を有する電磁波 (EM: Electromagnetic wave) は、EM センサを用いて検出可能である^{3,4)}。周波数帯域の中でも、HF (3 MHz~30 MHz)、VHF (30 MHz~300 MHz)、UHF (300 MHz~3 GHz) のEM センサのノイズ対信号比は高いことが一般的に理解されている⁵⁾。しかし、電磁波ノイズ除去はEMセンサ技術の欠点の1つである。すなわち、無線通信による様々ノイズが測定され、感度が低くなる。従って、PD信号からノイズを除去する信号処理や、ノイズとの干渉を回避すべき周波数帯域の設定が強く求められている。

ところで、電力機器を適切な時期に交換するためには、絶縁体の劣化状態を傾向管理できることが望ましい。このような管理処理を低コストで実現するためには、計測データを数値データ、すなわちデジタルデータとしてノートPCに格納する必要がある。

すなわち、実際の現場計測においては、前回のデータ

a)宮崎大学工学専攻エネルギー系コース大学院生

b)宮崎大学電気システム工学科教授

と比較して劣化の進行状況を把握することができることが望ましい。そのために、検出されたEM信号は、アナログデジタル変換器 (ADC) を介してデジタルデータに変換される。サンプリングレートが100 MHz未満の場合、低価格でコンパクトなADCが利用できる。ADCは監視システムの価格の大部分を占めるため、低コストの監視システムを実現する観点から、HFやVHFの利用が望ましい。そして、日常点検においては誰もが使用でき可搬型の診断システムが求められている。

本研究では、低価格かつ可搬型の劣化診断装置を開発するために、電磁波の漏洩箇所の一つである二次端子箱の開口面積を変化させた際のEM特性について評価した。ここでは、PD源を6.6 kVのモールドトランスに配置した。PDによるEM信号は、変圧器から約1060 mm離れたEMセンサを用いて検出した。その結果をもとに、注目すべき周波数、信号検出の判断の手法について検討した。

2. 実験方法および実験条件

図1に、EM信号とPD電流測定のための実験装置概要を示す。長さ1780 mmのEMセンサにより検出されたEM信号は増幅せず、デジタルオシロスコープにより保存した。その後、高速フーリエ変換 (FFT) による解析を行った。FFTを有効活用することにより、正確な周波数特性と強度を評価することができる。CT (Current Transformer) センサを用いて、数十 ns のパルス幅を有するPD電流を検出し、デジタルオシロスコープでサンプリング速度62.5 GS/sで記録した。印加電圧は商用周波数60 Hzの交流電圧を0.5 kV~5.0 kVの範囲で設定した。

図2に、実験で用いた計器用変成器の外観を示す。図3に使用した電極とその寸法を示す。電極は、真鍮製で直径10 mmの針状電極と、直径10 mmの平面電極からなり、

平面電極は厚さ 2 mm の石英ガラスで覆われている。電極のギャップ長は、0.1 mm 未満に設定した。針状電極に制限抵抗を介して交流電圧を印加し、出力電圧を高電圧プローブで測定した。

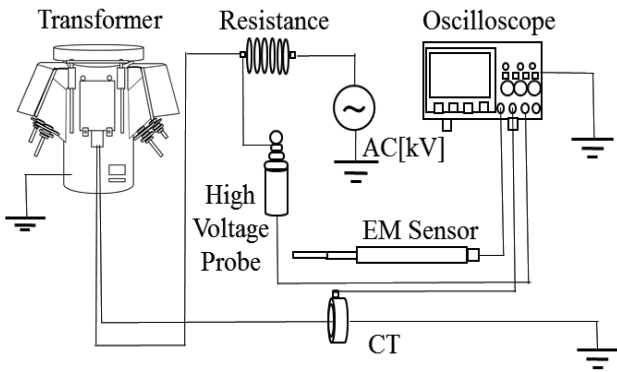


図 1. 実験装置の概要.

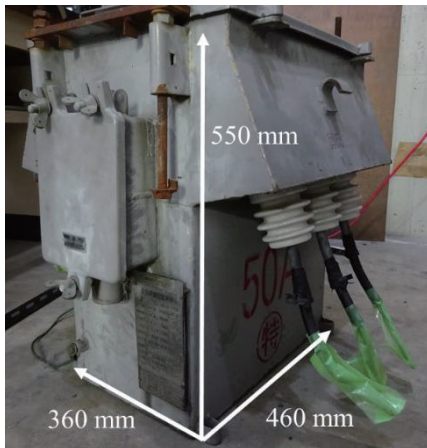
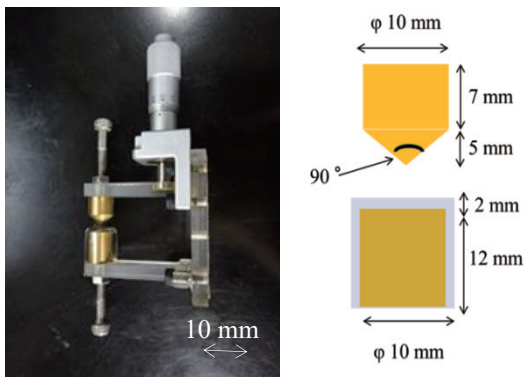


図 2. 計器用変成器の概観.



(a) 模擬放電電極 (b) 寸法図
図 3. 模擬放電電極.

図 4 に、変成器容器内部における PD 源の配置上面図を示す。PD 源と EM 波センサの先端との距離は 1060 mm で

ある。PD 源の高さは容器底面から 400 mm とし、EM 波センサも同様とした。また、EM 波センサは二次端子箱に対向するように配置した。

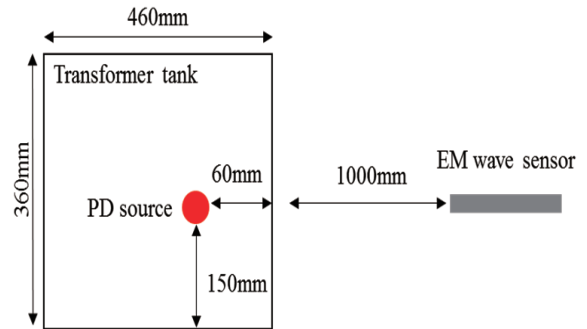


図 4. 電極配置上面.

図 5 に本報で用いた EM センサの外観を示す。また、表 1 に EM センサの特性を示す。

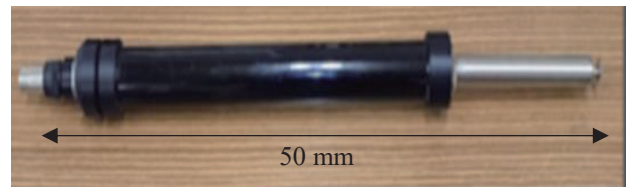


図 5. 実験に使用した EM センサ (RHM8B) .

表 1. EM センサの特性.

	RHM8B
製造元	第一電波工業
帯域	7 - 50 MHz
長さ	0.5 - 1.78 m
重さ	285 g

3. 実験結果および考察

まず、変成器外に放電源を配し 150 pC 程度の放電を発生させた際の放電電流及び EM を CT センサ、EM センサを用いて検出した。EM センサと放電源との距離は 1060 mm である。CT センサによって取得された電流波形を図 6 に示す。また、EM センサによって取得された EM 波形を図 7(a) に示し、図 7(b) に図 7(a) の FFT 解析結果について示す。図 7(b) から、20.5 MHz、27 MHz、30 MHz、42 MHz、50 MHz に周波数ピークが現れる。明白な周波数特性を示すために、ここでは、電荷量の大きな PD から得られた FFT スペクトルを示す。しかし、電荷量が 50 pC 未満であっても、およそその周波数特性は同じであった。

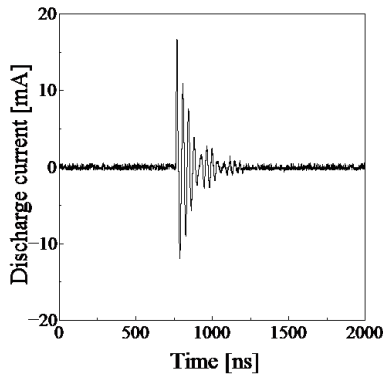
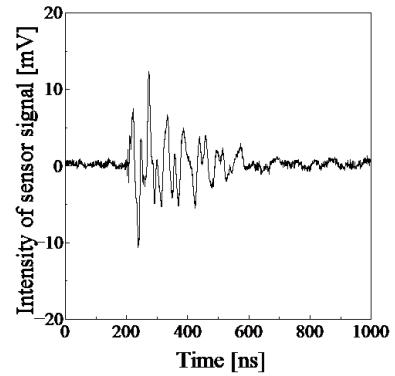
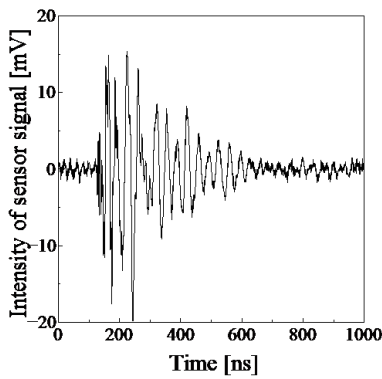


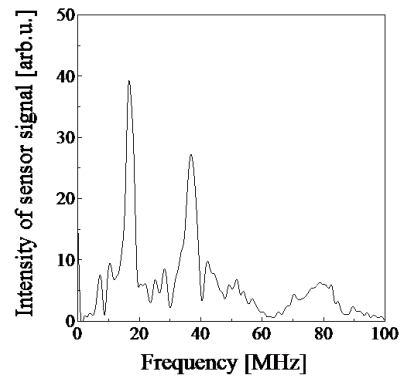
図 6. 放電電流波形.



(a) EM 波形.

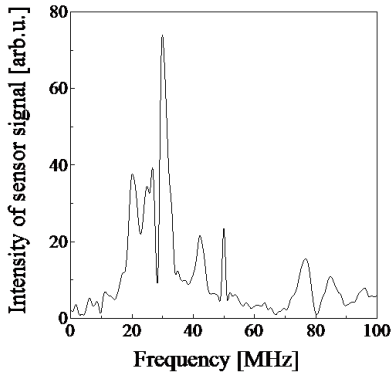


(a) EM 波形.



(b) FFT 解析結果

図 8. EM 波形およびその FFT 解析結果(60 pC).



(b) FFT 解析結果.

図 7. 変成器容器外で取得した EM 波形及びその FFT 解析結果.

図 8 に、PD 源を変成器内に配し、電荷量が 80 pC の放電を発生させた場合に検出された典型的な EM 信号とその FFT スペクトルを示す。明らかな EM 信号が検出された。ノイズと比較すると、EM 波信号の強度はノイズの強度の 10 倍である。図 8(b) から、20 MHz - 45 MHz において、図 7(b) と同様の明瞭な周波数ピークが確認されている。

次に、EM 漏洩箇所のひとつである二次端子箱の開口サイズの影響を評価した。最初に誘電体板を取り除いて、その半分を厚さ 1.5 mm の鉄板で覆った。図 9 は、2 次端子箱の内側の写真であり、電線の引き出し口の半分が幅 60 mm、高さ 45 mm の鉄板で覆われている。

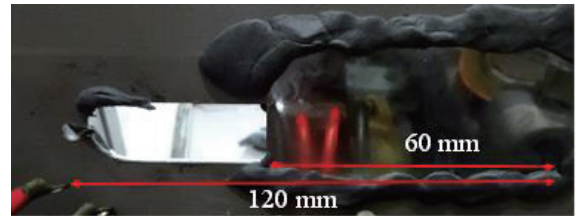
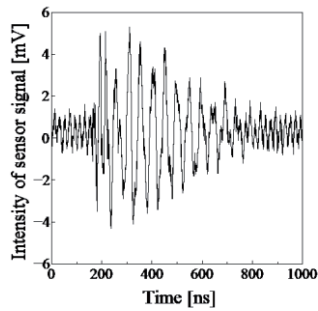
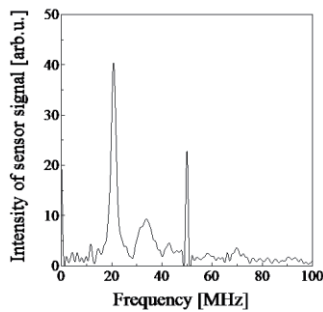


図 9. 開口部が鉄板によって半分覆われた二次端子箱.

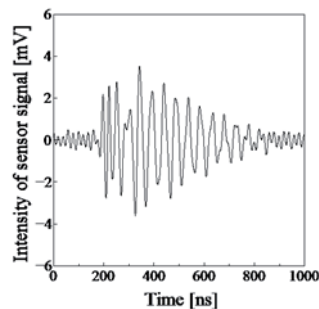
図 10 に、PD による電荷量が 60 pC の場合に検出された典型的な EM 信号とその FFT スペクトルを示す。図 8(a) に示す 60 pC の強度と比較して強度は小さい。回折および干渉の変化は、強度の減少に反映される。さらに、FFT スペクトルの分布は図 7(b) の分布とは異なり、明らかな周波数ピークが 20 MHz で現れる。実用的な場合には、変成器の配線用誘電体材料からなる開口面積の差はそれほど大きくないと思われる。我々が調べたように、開口面積を半分にしても周波数変化は大きかったが 20 - 45 MHz のバンドパスフィルタを使用し、20 - 45 MHz と 50 MHz の範囲のピーク付近の周波数ピーク比に着目することは、広く有用である。



(a) 半分開口した際の EM 波形.



(b) FFT 解析結果.



(c) 図 10(a)のバンドパス処理後波形.

図 10. EM 波形とその FFT 解析結果.

参考文献

- 1) M. Homma, M. Sakaki, E. Kaneko, S. Yanabu, "History of vacuum circuit breaker and recent development in Japan," 2004 International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV), volume. 2, pp. 378-383, (October 2004).
- 2) H. Jia-min, F. Xing-ming, Z. Xin, H. Zhi-chao, Z. Qi-tao, L. Cong, S. Wei-jian, "VCB contact system electrical endurance on-line condition monitoring technology and its application," 2012 International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV), pp. 513-516, (September 2012).
- 3) S. Chen, Y. Sun, H. Xie, "Characteristics of electromagnetic wave radiated from corona discharge", 2001 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, volume. 2, pp. 1279-1282, (August 2001).
- 4) Olsen, R.G, Stimson, B.O, "Predicting VHF/UHF electromagnetic noise from corona on power-line conductors", 1988 Transactions on Electromagnetic Compatibility, volume. 30, pp. 13-22, (February 1988).

4. 結論

本報では、電力機器の劣化診断装置の開発として、変成器容器内部、外部で模擬電極を用いて発生させた放電の検知を行った。また、EM 漏洩箇所の一つである二次端子箱の開口面積を変化させた場合の EM 特性について評価した。測定の結果、容器の内外において EM の周波数分布は変わらず、20 - 45 MHz に現れる。開口面積を変化させると EM は回折等の影響により強度が減少し周波数分布は変化するが、20 - 45 MHz 帯と 50 MHz との周波数ピーク比に注目することで放電とノイズとの区別が可能であることが分かった。