

電磁波センサを用いた配電機器内部で生じる部分放電の検出

白浜 優吾^{a)} 平島 俊紀^{b)}・中村 友哉^{a)}・迫田 達也^{c)}

Detection of Partial Discharges in Electric Power Distribution Equipment using an Electromagnetic Wave Sensor

Yugo SHIRAHAMA, Toshiki HIRASHIMA, Tomoya NAKAMURA, 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. EM waves owing to the PDs were measured from the outside of the tank by an EM sensor. As the result, we successfully detected PDs with the magnitude of less than 10 pC and confirmed a linearity between the magnitude of EM signal and electrical charge of PD.

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、限界まで電力機器を使用し、維持費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診断・監視技術を確認すべきである²⁾。なお、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。変圧器の劣化は、過電圧、吸湿、オーバーロード、および PD(Partial Discharge)によって引き起こされる。また、絶縁抵抗の低下に伴い、コロナ放電も発生しやすい。放電は、アーク放電の発生によって最終的に電氣的故障を引き起こす可能性がある。このような電氣的故障を防止するために、放電のオンライン検出は絶縁状態を評価するのに有用である。

PD によって生じた広い周波数帯域を有する電磁(EM:Electromagnetic)波は、EM 波センサを用いて検出可能である³⁾⁴⁾。特に、HF (3 MHz~30 MHz)、VHF (30 MHz~300 MHz)、UHF (300 MHz~3 GHz) の EM 波センサの感度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 波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な EM 周波数帯域と、オンライン監視のための電氣的ノイズとが測定され、感度が効果的に低くなる。従って、PD 信号から電氣的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、絶縁体の監視を傾向管理を行えることが望ましい。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。ここで、検出された EM 波信号は、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、低コストで監視システムを実現する観点から、HF や VHF の有効利用が望ましい。

本研究では、高感度信号判別技術を確認するために不可欠な、PD による HF および VHF 帯の周波数特性を調べた。ここでは、PD 源を 6.6kV のモールドトランスに配置した。PD による EM 波信号は、変圧器から約 1060 mm 離れた EM 波センサを用いて検出した。また、低コストでスマートなトレンド管理システムを実現するという観点から、ここでは 100 MHz 未満の低周波帯域に着目した。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 波信号と PD 電流の測定のための実験装置を示す。長さ 1780 mm の EM 波センサにより検出された EM 波信号は増幅せず、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~2.0 kV の範囲で設定した。

a)宮崎大学工学専攻エネルギー系コース大学院生

b)宮崎大学電気電子工学専攻大学院生

c)宮崎大学電気システム工学科教授

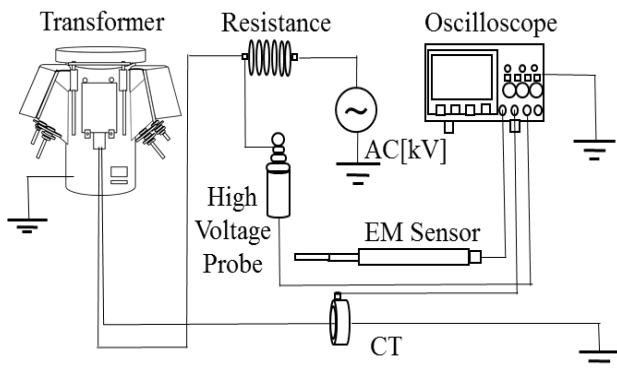
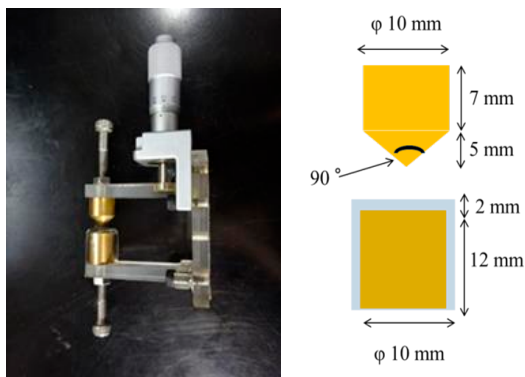


図1. 実験装置の構成

図2に、実験で用いた計器用変成器の外観を示す。図3には変成器容器内部に配置したPD源である電極とその寸法図を示す。電極は、真鍮製で直径10mmの針状電極と、直径10mmの平面電極からなり、平面電極は厚さ2mmの石英ガラスで覆われている。電極のギャップ長は、0.1mm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1060mmである。PD源の高さは容器底面から400mm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。

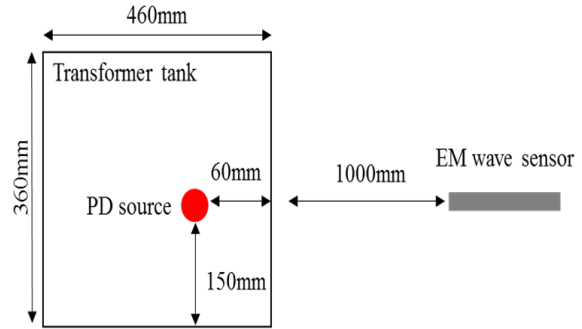


図4. 電極配置上面



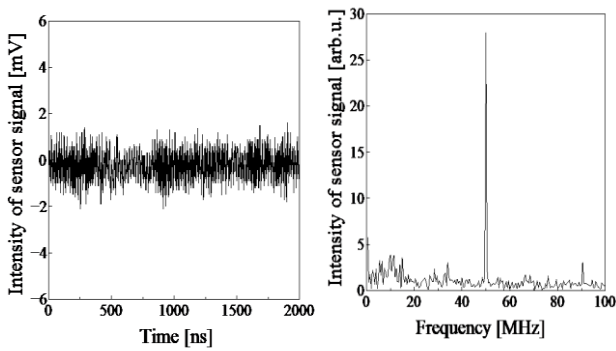
図5. 実験に使用したEM波センサ (RHM8B)

表1 アンテナの特性

	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

図6(a)にEM波センサで取得したノイズ波形を示す。さらに、ノイズ波形をFFT処理したものを図6(b)に示す。図6(a)より、ノイズ信号強度はPDによる信号と比べると小さくなる。周波数成分は100MHzまで様々に分布しているが、10-16MHz、50MHz、90MHzに周波数ピークが現れた。10-16MHz、90MHzの周波数成分は、船舶・航空通信に使用されており、50MHzの周波数成分は、50-54MHzのアマチュア無線帯域に起因する可能性がある。図7に、1kVの交流電圧を電極に印加したときに、CTセンサにより検出されたPDの電流波形を示す。半値全幅は約30nsであり、電荷量は10pCである。本実験では、印加電圧とギャップ長を変えることにより、5pC~80pCの範囲でPDの大きさを調整した。



(a) ノイズ波形 (b) FFT 結果

図 6. ノイズ波形及びその FFT 解析結果

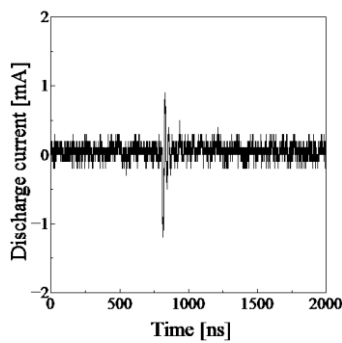


図 7. 放電電流波形

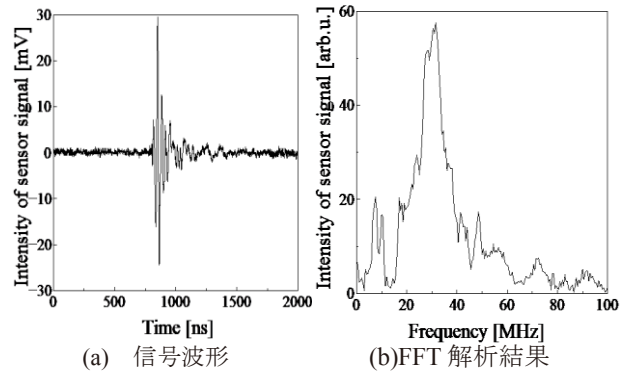
次に、放電電荷量が 80 pC の場合の信号波形を図 8 (a) に示す。さらに、その信号波形を FFT 処理したものを図 8 (b) に示す。

図 8 (a) に示すノイズ時と比較しても明らかに検出波形に差異が見られるため、PD による放射 EM 波を検出していると判断した。EM 波信号の強度はノイズ強度の約 10 倍である。また、図 8 (b) に示すように、20 MHz~40 MHz では明らかな周波数成分が確認されている。図 8 (b) に示す、ノイズ信号と比較しても明らかに周波数成分が大きいため PD によるものと判断した。つまり、PD により発生する放射 EM 波には 20 MHz および 40 MHz 付近の周波数成分も含まれていると考えられる。20 MHz~40 MHz 付近の周波数成分に着目することで、PD 検知の可能性が示唆された。約 50 MHz に対する約 32 MHz の周波数成分比は非常に大きいため、バンドパスフィルタの有用性は小さい。しかし、後述するように、ノイズ強度が EM 波信号と同じ場合には、バンドパスフィルタを用いたノイズ除去が必要となる。

放電電荷量 10 pC 時の信号波形を図 9 (a) に示す。さらに、放電電荷量 10 pC 時の信号波形を FFT 処理したものを図 9 (b) に示す。PD による EM 波信号は図 8 (a) に示す 80 pC の場合と比べて小さい。また、ノイズ強度と信号強度の比は低く、この場合、バンドパスフィルタを用いたノイズ除去が必要とされる。

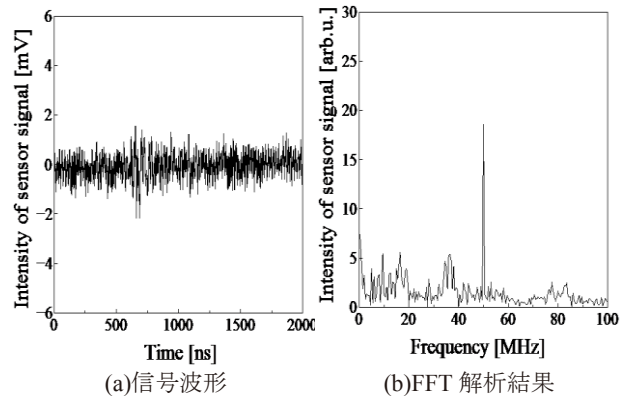
図 10 は、図 9 の信号波形を 20 MHz~45 MHz でバンドパス処理し、さらに拡大した波形で、図 10 (a) の 0 ns は、図 9 (a) の 500 ns と一致する。図 10 (a) に示すように、200 ns 付近で PD による EM 波信号が存在する。図 10 (b) より、50 MHz の周波数成分はまだ残っているが、スペクトル強度は図 9 (b) に示すものに比べて低くなり、約 50 MHz に対して約 32 MHz の周波数成分は大きくなる。

ちなみに、50 MHz の周波数成分は、50-54 MHz のアマチュア無線帯域に起因する可能性がある。



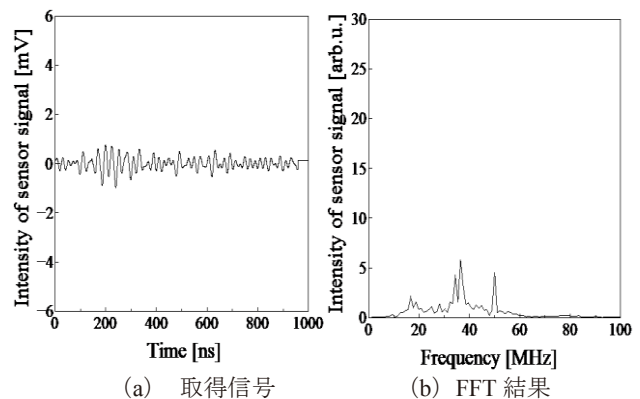
(a) 信号波形 (b) FFT 解析結果

図 8. 放電信号波形及び FFT 結果(80 pC)



(a)信号波形 (b)FFT 解析結果

図 9. 放電信号波形及び FFT 結果(10 pC)



(a) 取得信号 (b) FFT 結果

図 10. 図 9 で示した放電信号
(バンドパス処理後 20 - 45 MHz)

従って、50 MHz 前後の周波数成分を無視して実用化の方が良いと考えられる。

図 11 に 20 - 45 MHz においてバンドパス処理を行った放電電荷量と EM 波センサ強度の関係を示す。センサ強度は平均ノイズ成分値である約 0.2 mV を除いた値である。この図からわかるように、5 pC の大きさから PD を正常に検出できた。

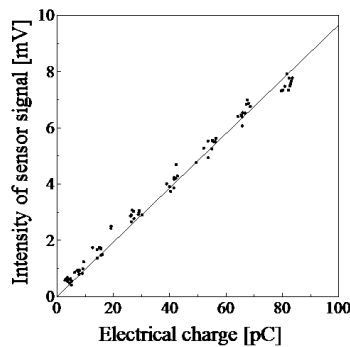


図 11. 放電電荷量と EM 波センサ強度の関係

4. 結論

本報では、電力機器の劣化診断装置の開発として、変成器容器内部で模擬電極を用いて発生させた放電の検知を行った。EM 波センサを用いた測定の結果、ノイズの周波数成分は 100 MHz まで様々に分布しているが、10-16 MHz、50 MHz、90 MHz に顕著に現れることが分かった。そして、ノイズ信号強度と同レベルの放電信号が得られた場合、バンドパスフィルタを用いたノイズ除去が必要となる。バンドパスフィルタを 20 MHz~45 MHz で設け、周波数分布で比較した結果、より明確な判別が可能となることを明らかにした。さらに、5 pC 程度の電荷量であっても EM 波センサにより検出可能であることを明らかにした。

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).
- 5) M.Asakura, M. Ihira, T. Miyake, T. Sakoda, Y. Iki, R. Kida, "Detection of Partial Discharges for Vacuum Circuit Breaker in Cubicle using Acoustic Emission and Electromagnetic Wave sensors", 2015 The International Conference on Electrical Engineering, ICEE15A-122 (unpublished, 2015).