

変成器内部で生じる部分放電放射電磁波の周波数特性

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

Frequency Characteristics of Electromagnetic Wave Emitted by Partial Discharges in Transformer

Mitsuki KAWAKONE, Yugo SHIRAHAMA, 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, Detected electromagnetic wave spectra have a frequency range of about 20-40 MHz.

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、モールド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。モールド変圧器の絶縁材料として用いられているエポキシ樹脂は、樹脂内部や導体との界面にボイドやクラックなどの欠陥が存在すると、そこで部分放電 (PD: Partial Discharge) が発生し、ボイド放電劣化やトリ成長に伴う絶縁破壊に至る。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 波センサー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 波センサー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 波センサー技術の欠点の 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 200 mm から 2000 mm 離れた EM 波センサーを用いて検出した。さらに、EM 波センサーによる PD の検出位置を変更し周波数成分に変化があるか調べた。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 未満の低周波数帯域に着目した。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 波信号測定のための実験装置を示す。長さ 1780 mm の EM 波センサーにより検出された 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

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

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。

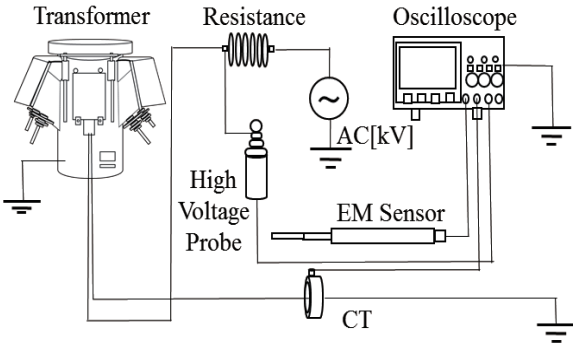


図 1. 実験装置の構成

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 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 - 0.2 mm 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。

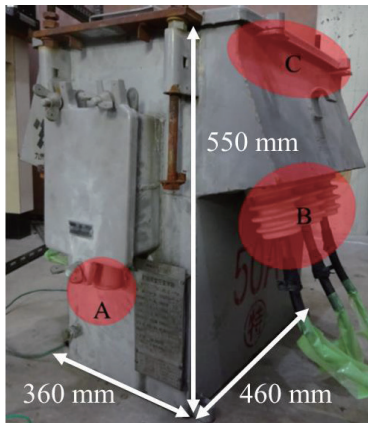
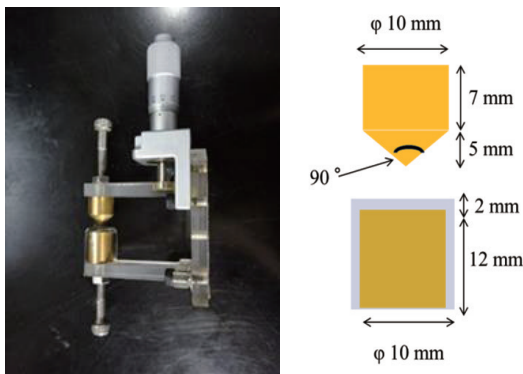


図 2. 計器用変成器の概観



(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。変成器筐体と EM 波センサの先端との距離は 200 - 2000 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、ブッシング部に対向するように配置した。

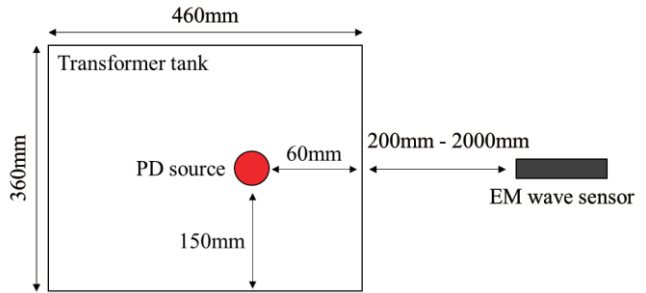


図 4. 電極配置上面

図 5 に今回用いた EM 波センサを、表 1 にアンテナの特性を示す。



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 波センサにより取得したノイズ信号及びその周波数解析結果を示す。図 6 (b) より、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 に顕著な成分を確認できた。一般的に、ノイズは特定の周波数成分を持たないため、このような結果となった。

図 7 (a) に EM 波センサを変成器正面に配置した場合に取得した PD の信号波形を示す。さらに、信号波形を FFT 処理したものを図 7 (b) に示す。図 7 (b) より、周波数成分は、約 20-40 MHz に周波数ピークが現れた。26.5 MHz に最大周波数成分が得られている。図 8 (a) に EM 波セ

ンサをブッシング正面に配置した場合に取得したPDの信号波形を示す。さらに、信号波形をFFT処理したものを図8(b)に示す。図7(b)同様に周波数成分は、約20-40 MHzに周波数ピークが現れた。29.5 MHzに最大周波数成分が得られている。

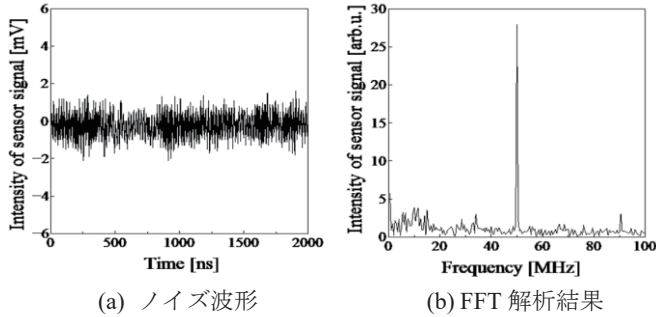


図6. ノイズ波形及びFFT解析結果

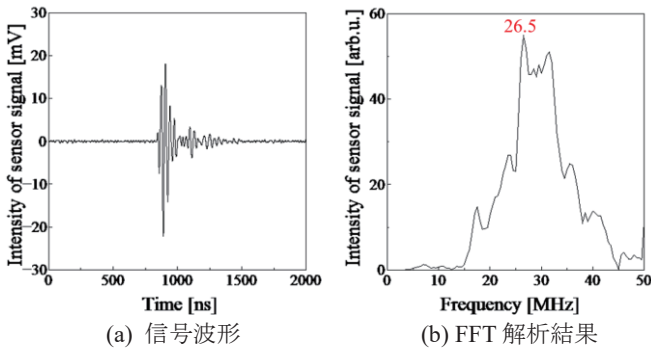


図7. 放電信号波形及びFFT解析結果(変成器正面方向)

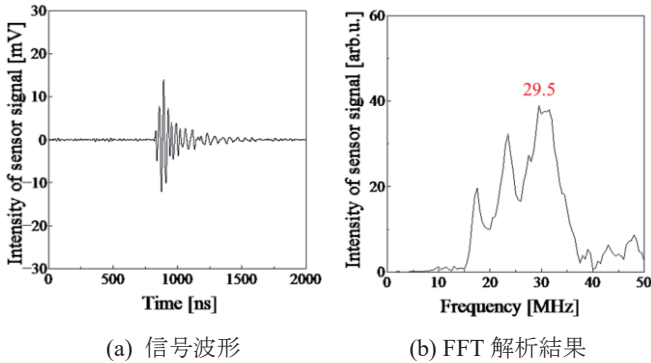


図8. 放電信号波形及びFFT解析結果(ブッシング方向)

図8に、EM波センサを変成器筐体正面とブッシング部に対抗するように配置した場合の最大スペクトルピーク値の周波数比較を行った結果について示す。なお、PDの周波数解析結果を、それぞれの箇所において110個取得した結果を示している。その結果、筐体正面より取得した最大スペクトルピーク値は約30 MHzにおいて最も多い結果が得られた。また、ブッシング部では約25 MHzにおいて最も多い結果が得られた。

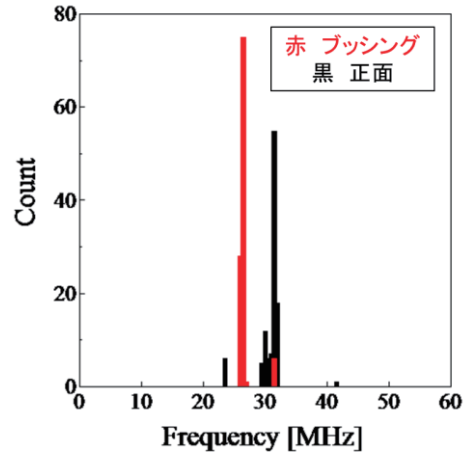


図9. 最大スペクトルピーク値の周波数比較

図10(a)に、EM波センサを二次端子箱より50 mmの位置に配置した場合に取得したPDの信号波形を示す。さらに、信号波形をFFT処理したものを図10(b)に示す。図10(b)より、周波数成分は約20 MHz、40 MHz、75 MHzにピークが現れた。

図11(a)に、EM波センサをブッシング部より50 mmの位置に配置した場合に取得したPDの信号波形を示す。さらに、信号波形をFFT処理したものを図11(b)に示す。周波数成分は約20 MHz、40 MHzにピークが現れた。しかし、図10(b)とは異なり約75 MHzの周波数成分は減衰している。図12(a)に、EM波センサをふた部より50 mmの位置に配置した場合に取得したPDの信号波形を示す。信号波形をFFT処理したものを図12(b)に示す。図11(b)と同様に、周波数成分は約20 MHz、40 MHzにピークが現れた。ブッシング部とふた部において75 MHz成分が減衰する結果となった。これは、磁器製のブッシング部を通したためであると考えられる。

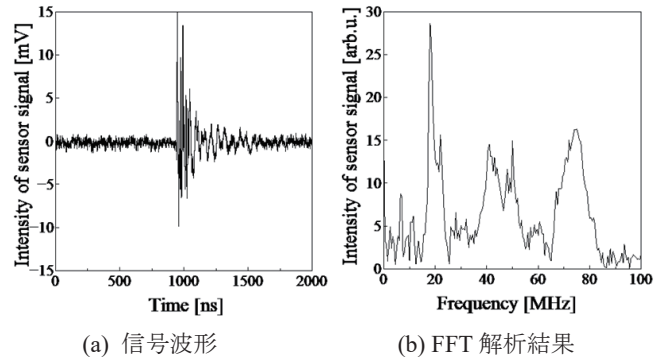


図10. 放電信号波形及びFFT解析結果(二次端子箱部)

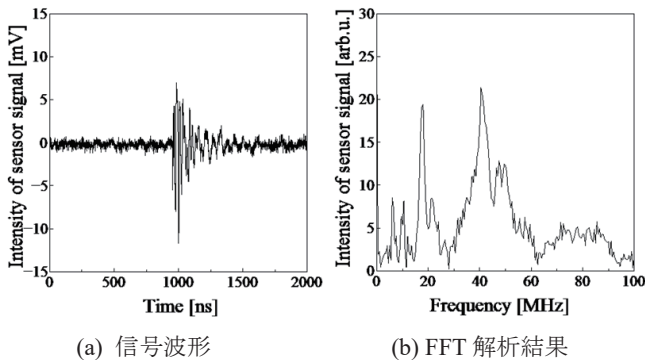


図 11. 放電信号波形及び FFT 解析結果(ブッシング部)

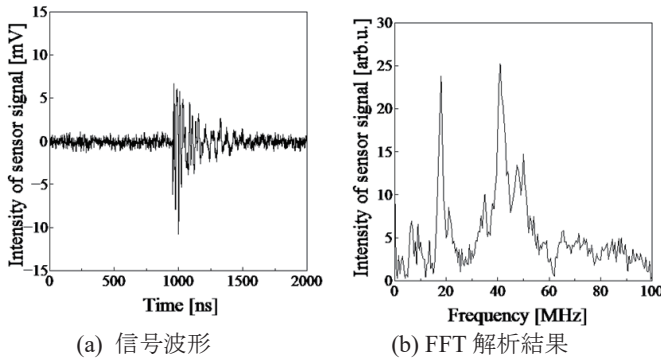


図 12. 放電信号波形及び FFT 解析結果(ふた部)

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部分放電の周波数領域特性について調べた。EM 波センサを用いた測定の結果、部分放電の最大スペクトルピークは、EM 波センサの検出方向によって異なることが分かった。変成器筐体正面方向における最大スペクトルピークは約 30 MHz、ブッシング部方向における最大スペクトルピークは約 25 MHz において多く検出された。また、二次端子箱部、ブッシング部、ふた部より 50 mm の位置から放射電磁波を検出した結果、二次端子箱部における特徴的な周波数成分は約 20 MHz、40 MHz、75 MHz であったのに対し、ブッシング部とふた部より検出された周波数成分は約 20 MHz、40 MHz が顕著に見られ、75 MHz の成分は減衰する結果となった。これは、ブッシング部を通して放射電磁波を検出したためであると考えられる。これらの結果より、EM 波センサを用いて変成器内部で生じる部分放電の放射電磁波を取得する際、周波数成分約 20–40 MHz に着目した劣化診断が有用であることが示唆された。

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).

1) M. Homma, M. Sakaki, E. Kaneko, S. Yanabu, "History of vacuum circuit breaker and recent development in Japan," 2004 International Symposium on Discharges