



AE 及び電磁波センサを用いた部分放電検出

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): Acoustic emission sensor, Electromagnetic wave sensor, Partial discharge, Vacuum circuit breaker 作成者: 朝倉, 匡俊, 井平, 学, 三宅, 琢磨, 迫田, 達也, 壺岐, 祐典, 前田, 健作, Asakura, Masatoshi, Ihira, Manabu, Iki, Yusuke, Maeda, Kensaku メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/5892

AE 及び電磁波センサを用いた部分放電検出

朝倉 匡俊^{a)}・井平 学^{a)}・三宅 琢磨^{b)}・迫田 達也^{c)}
壺岐 祐典^{d)}・前田 健作^{d)}

Detection of Partial Discharge using Acoustic Emission and Electromagnetic Wave Sensors

Masatoshi ASAKURA, Manabu IHIRA, Takuma MIYAKE, Tatsuya SAKODA
Yusuke IKI, Kensaku MAEDA

Abstract

To diagnose electric power apparatus under operation, to detect partial discharge (PD) which refers predictive phenomenon on insulation deterioration of electric power apparatus is useful. An acoustic emission (AE) and an electromagnetic wave sensor techniques are widely accepted for the detection of PDs. However, the relationship between the intensity of signal and electrical charge due to PDs is not well investigated. We here focused on diagnosing vacuum circuit breakers (VCBs), and examined to detect PDs in a cubicle. The PDs were detected by AE and electromagnetic wave sensors, and their sensitivities were evaluated. Based on the results, we discussed an optimal detection method for detecting PDs in a cubicle.

Keywords: Acoustic emission sensor, Electromagnetic wave sensor, Partial discharge, Vacuum circuit breaker

1. はじめに

過電流や地絡、短絡電流を瞬時に遮断する真空遮断器 (VCB: Vacuum Circuit Breaker) は、事故の拡大を抑える他、電力供給の信頼性の確保を担っている。一般的に、真空遮断器は配電盤(キュービクル)内に格納されており、点検時以外に扉を開けることはほとんどない。そのため、設置環境が塩害地域であったり、高温、高湿度で結露しやすい環境、腐食性ガスや塵埃の付着が多い場所においては、絶縁部の汚損及び劣化による絶縁不良が起こる。すなわち、VCB の絶縁フレームに汚損物の堆積や結露が進行することで絶縁フレームの表面抵抗が低下し、部分放電(Partial Discharge: PD)が発生する¹⁾。同放電が進展することにより、最終的にトラッキング破壊に至る。

ところで、高度情報化においては良質な電気の安定的な供給が強く求められている。その一方で、電力自由化によって新規事業者が参入したことにより、企業間での競争が生まれ、電気設備の保守、管理、運用、監視、劣化診断などのコストを少しでも抑えたいという要請もある。最近では、高度成長期に大量に導入された電気設備が寿命を迎えてきているが、中には寿命年数を超えて使用されているものもある。これらの電気設備は、外見上は問題が見られないものでも、使用年数に応じて劣化が進行している可能性がある。これに対して、寿命年数に達していないものでも、設置環境が過酷な場所であれば、直ぐに故障してしまう可能性もあり、様々な要因で電気設備の寿命は変化する。このように劣化が進行する機器の監視、保守、診断、寿命を評価する手法の一つに、部分放電検出技術がある²⁾。絶縁破壊の前兆現象である PD は、絶縁体中の異物やボイド、もしくは絶縁体表面の汚損などにより発生し、振動、音、光、熱、ガスの分解、電磁波、突発電流などの現象を引き起こすため、これらの現象を測定することで劣化の有無を判断することができる。発生初期の PD の放電電荷量が例

a)宮崎大学電気電子工学専攻大学院生

b)宮崎大学工学部技術職員

c)宮崎大学電気システム工学科教授

d)旭化成 EIC ソリューションズ株式会社

え小さくとも、継続して発生することにより絶縁体が侵食され、最終的には絶縁破壊に至る。故に、PD 計測は機器の絶縁状態を判定するのに有効な手段である³⁾。本研究では、VCB が収納されているキュービクル外から PD 計測を行い、VCB の劣化診断を行うことを目指している。

本報では、VCB を収納可能なキュービクル(修電社製)内で PD を発生させ、これによって発生した弾性波及び電磁波を AE(Acoustic Emission)センサ、電磁波(Electromagnetic wave: EM)センサでそれぞれ検出した。得られた結果をもとに、PD の検出に望ましいセンサの選定を行った。

2. AE センサを用いた部分放電計測

2.1 実験方法

図 2.1 に実験装置の概要を、図 2.2 に AE センサと模擬放電電極を示す。AE 計測システムは、AE センサ(NF Electric Inst., AE-900S-WB)、プリアンプ(NF Electric Inst., Model: 9917)、ディスクリミネータ(NF Electric Inst., AE9922)、A/D 変換器(NI USB-5133, 100 MS/s)、PC で構成される。AE センサによって検出した信号は、プリアンプで 40 dB、ディスクリミネータで 60 dB で増幅した。また、放電電流は CT センサ(Prodyn Tech., Model:I-125-1HF)で計測した。模擬放電電極は真鍮製で、高压側電極を針状とし、接地側は厚さ 1 mm のガラス被覆を施した平板電極とした。電極間のギャップ長は 0.1 mm ~ 1.4 mm とし、マイクロメータでギャップ長の調整を行った。印加電圧は放電開始電圧の 0.9 kV から 7.0 kV とし、電源周波数は商用周波数である 60 Hz とした。図 2.3 に放電電極と AE センサの配置を示す。キュービクルの寸法は高さ 1150 mm、横 900 mm、奥行き 840 mm、鉄板厚 3 mm である。電極は AE センサとの距離が 100 mm ~ 300 mm になるように設置した。

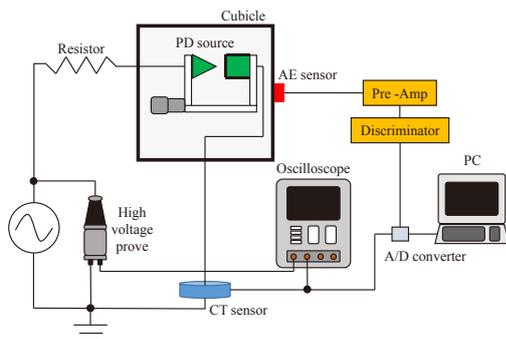
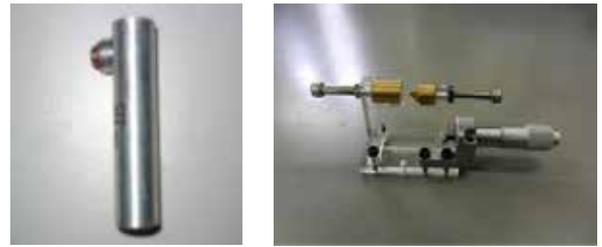


図 2.1 実験装置の概要.



(a) AE センサ (b)模擬放電電極

図 2.2 AE センサ及び模擬放電電極.

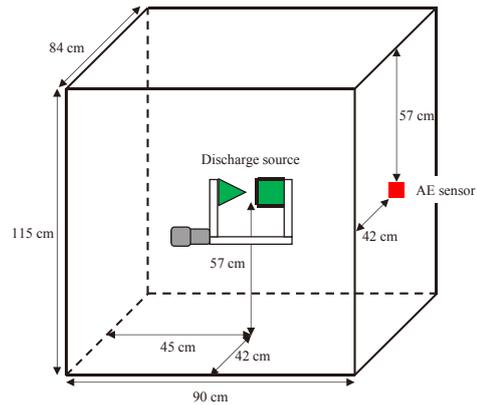


図 2.3 AE センサと放電電極の配置.

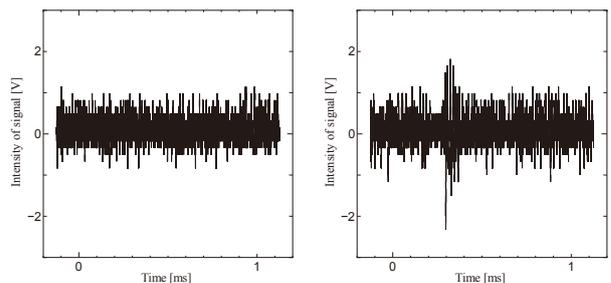
2.2 実験結果及び考察

2.2.1 AE センサと PD 源との距離が 100 mm の場合

AE センサと PD 源の距離が 100 mm の場合において AE センサによって計測した信号波形を図 2.4 に示す。図 2.4(a) より、PD 電荷量が 1000 pC でも AE センサでは PD を検出できていない。しかし、PD 電荷量が 4000 pC 以上では図 2.4(b) のような信号が検出された。弾性波は 330 m/s で伝搬するので PD 発生から AE センサが弾性波を検出するまでの時間は、

$$0.10 \text{ m} / 330 \text{ m/s} = 0.0003 \text{ s} = 0.3 \text{ ms} \quad (1)$$

となる。図 2.4(b) において、0.3ms 付近に信号が検出されており、これは PD により発生した弾性波を検出している。



(a)PD 電荷量 1046 pC (b)PD 電荷量 4026 pC

図 2.4 距離 100 mm の場合の AE センサ波形.

なお、PD 電荷量が 1000 pC でも信号が検出できなかった原因は、空気中における弾性波の減衰があることと、鉄板に達した弾性波が鉄板表面で反射されてしまうためである。

2.2.2 AE センサと PD 源との距離が 200 mm の場合

AE センサと放電源との距離が 200 mm の場合に、AE センサで検出した信号波形を図 2.5 に示す。図 2.5(a)より PD 電荷量が 2000 pC 発生している放電でも、AE センサは特徴的な信号を検出できていない。しかし、PD 電荷量が 5000 pC 以上では図 2.5(b)のように明確な信号が確認できる。弾性波は 330 m/s で伝搬するので PD 発生から AE センサが弾性波を検出するまでの時間は、

$$0.20 \text{ m} / 330 \text{ m/s} = 0.0006 \text{ s} = 0.6 \text{ ms} \quad (2)$$

となる。図 2.5(b)において 0 ms は PD 発生時であり、0.6 ms 付近に信号が検出されていることから、同信号は PD によるものである。また、5000 pC 以上では、0 s 付近にパルス状の信号が検出されるようになった。これは、アーク状の放電が発生し、その電磁ノイズによるものと思われる。

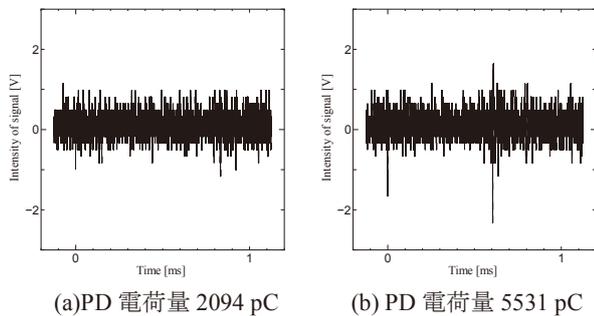


図 2.5 距離 200 mm の場合の AE センサ波形。

2.2.3 AE センサと PD 源との距離が 300 mm の場合

PD 源と AE センサの距離が 300 mm の場合に、AE センサで検出した波形を図 2.6 に示す。距離が 200 mm の場合では PD 電荷量が 6000 pC で信号の検出ができていたが、距離が 300 mm になると、図 2.6(a)に示しているように、特徴的な信号を検出できなかった。しかし、PD 電荷量が 20000 pC 以上では図 2.6(b)のような信号が検出された。弾性波の音速は 330 m/s であるので、AE センサの時間遅れは

$$0.30 \text{ m} / 330 \text{ m/s} = 0.0009 \text{ s} = 0.9 \text{ ms} \quad (3)$$

となり、図 2.6(b)より明らかなように 0.9 ms 付近に信号が検出されているので、これは PD により発生した弾性波を検出している。

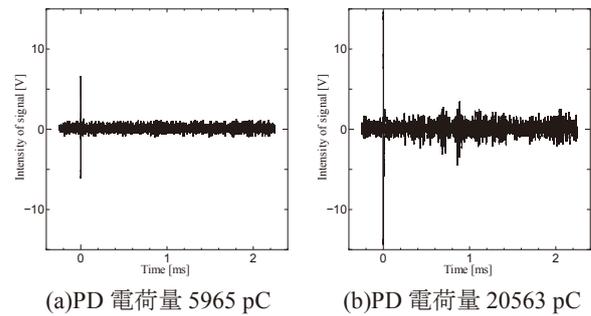


図 2.6 距離 300 mm の場合の AE センサ波形。

図 2.7 に距離毎の PD 電荷量と AE センサ強度の関係を、図 2.8 に図 2.7 の PD 電荷量が 0 ~ 10000 pC の範囲を拡大したものを示す。両図より PD 電荷量と AE センサ強度には比例関係が成り立つことが分かる。また、距離 300 mm において、20000 pC 付近で AE センサ強度にバラつきが見られる。AE 信号と電磁ノイズによる信号が重なったことによる影響、もしくは計測開始(0 ms)となる電流トリガ点前に発生していた AE 信号が最短距離ではなく、鉄板を伝搬してきた信号を同時検出したことが考えられる。

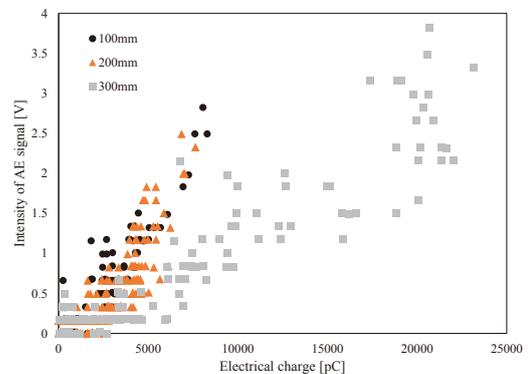


図 2.7 PD 電荷量と AE センサ強度の関係。

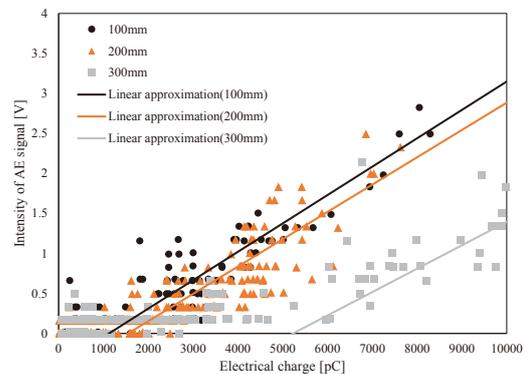


図 2.8 PD 電荷量と AE センサ強度の関係(拡大図)。

図 2.9 に、AE センサと PD 源との距離と、検出した PD 電荷量下限値の関係を示す。例えば、PD が AE センサから 100 mm 離れている場合、PD 電荷量が約 4000 pC 以上の PD であれば、AE センサで放電を検出できる。同様に、距離が 200 mm では約 6000 pC、距離が 300 mm であれば 10000 pC 以上の PD であれば、AE センサで PD 検出が可能である。同図より PD 源からの距離と検出下限値は比例している。ここで、弾性波(音波)の反射率と透過率を算出する。空気と鉄の音響インピーダンスは、空気(Z_1)が 428 kg/m²s、鉄(Z_2)が 46.4×10^6 kg/m²s であるため、音圧の反射率(r_p)と音の強さの透過率(τ_I)は

$$r_p = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{46.4 \times 10^6 - 428}{46.4 \times 10^6 + 428} = 0.9999 \quad (4)$$

$$\tau_I = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2} = \frac{4 \times 428 \times 46.4 \times 10^6}{(46.4 \times 10^6 + 428)^2} = 0.000036895 \quad (5)$$

となる。以上より、キュービクル内部で発生した PD による弾性波は、空気と鉄板の境界で 99% 反射し、鉄板を介した場合には、音の強さは約 3 万分の 1 以下になる。

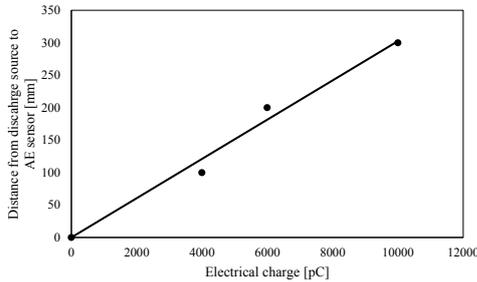


図 2.9 AE センサにおける検出限界電荷量と距離。

3. 電磁波センサを用いた部分放電計測

3.1 実験方法

図 3.1 に実験装置の概要を示す。AE センサの実験装置と異なる点は、AE 計測システムの代わりに電磁波(EM)センサを設置したことである。電磁波センサで取得された信号はオシロスコープ(サンプリング速度 62.5 GS/s)で取得した。電磁波センサはポールアンテナ(第一電波工業株式会社、RHM-8B、周波数帯域 7~50 MHz)を用いた。PD 電流は CT センサで計測し、取得電流は電磁波信号を取得するためのトリガ用信号として用いた。図 3.2 に放電電極と電磁波センサの配置を示す。電極間のギャップ長は 0.1 mm ~ 1.4 mm、印加電圧は 0.9 kV ~ 7.0 kV である。

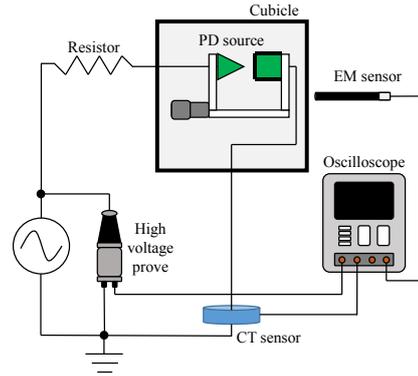


図 3.1 実験装置の概要。

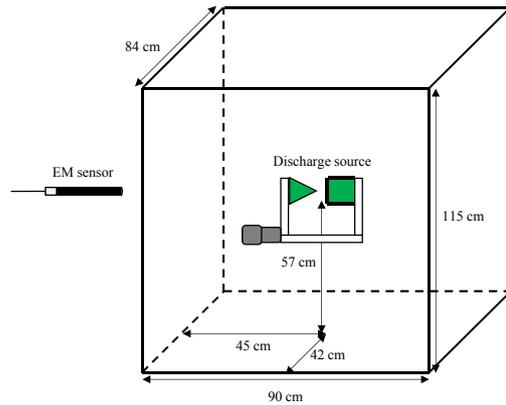


図 3.2 電磁波センサと放電電極の配置。

3.2 実験結果及び考察

図 3.3 に PD 電荷量が約 700 pC 時に電磁波センサで取得された信号波形と取得された信号波形の FFT 解析結果を示す。図 3.3(a) より、PD による電磁波は、電流が検出されたと同時に電磁波センサで取得されていることが分かる。AE センサで取得した際は、弾性波が音速で伝搬するため、電流検出からの時間遅れが生じていたが、電磁波は光速で伝搬するので、時間遅れが生じることなく検出される。図 3.3(b) より、PD により生じた電磁波は 20 MHz 帯に大きな信号成分を有することが分かる。また、図 3.4 に PD 電荷量と電磁波センサ強度の関係を示す。図 3.4 より、AE センサを用いた実験結果と同様に、PD 電荷量と電磁波センサ強度には比例関係が確認できる。AE センサを用いた実験結果と大きく異なる点は、検出限界電荷量の違いである。AE センサの場合では距離が 100 mm の場合でも検出限界電荷量は約 4000 pC であったが、電磁波センサの場合では、図 3.3 に示すように、PD 電荷量が約 700 pC 時でも明確な信号波形を取得でき、検出限界は約 10 pC である。従って、電磁波センサの方がより低電荷量の放電を取得できる。

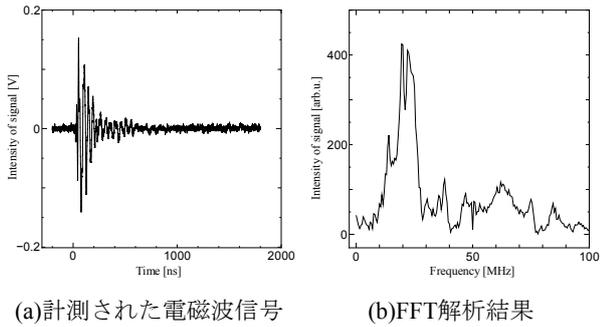


図3.3 取得された信号波形とFFT解析結果.

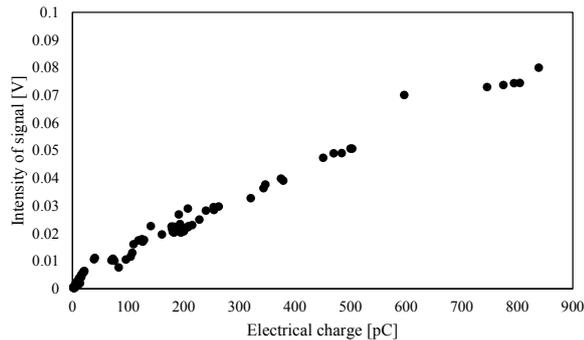


図3.4 PD電荷量と電磁波センサ強度の関係.

4. 結論

キュービクル内で模擬的にPDを発生させ、PDにより発生した弾性波及び電磁波をAEセンサ、電磁波センサを用いて検出した。AEセンサを用いたPD計測では、キュービクル内でのPDにより発生した弾性波は空気や鉄板により減衰はするが、AEセンサによってPDの検出は可能であることを明らかにした。しかし、検出下限値は比較的高く、4000 pC以上であった。

電磁波センサを用いたPD計測では、検出下限が約10 pCであることを明らかにした。また、PDによる周波数が20 MHz帯であり、電磁ノイズが大きい環境であってもバンドパス処理を施すことで、PDを検出できると考える。

参考文献

- 1) 電気学会 編: 電気設備の診断技術 改訂版, オーム社, 2003.
- 2) 電気協同研究会 編: 劣化診断マニュアル, 電気書院, 1991.
- 3) 末長清佳: “部分放電検出装置を利用した音響による変電設備の絶縁劣化診断技術の開発” 火力原子力発電, Vol.50, no. 513, p.703-710, 1999.