

GIS内の部分放電およびフリー異物により発生するラム波の時間周波数解析

学生員 小迫 雅裕 (九州工業大学)
正員 松久 高士 (高岳製作所)

正員 大塚 信也 (九州工業大学)
正員 匹田 政幸 (九州工業大学)

Time-Frequency Analysis of Lamb Waves Caused by Partial Discharges and Free Particles in GIS

Masahiro Kozako, Student Member, Shinya Ohtsuka, Member (Kyushu Institute of Technology), Takashi Matsuhisa, Member (Takaoka Electric Mfg. Co., Ltd), and Masayuki Hikita, Member (Kyushu Institute of Technology)

We investigated propagation properties of Lamb waves in GIS tank using time-frequency analysis to diagnose insulation performance of GIS. We measured the acoustic signals excited by a metallic particle colliding with the tank sheath, and those emitted by partial discharge in GIS as well. The Wavelet Transform was applied to decompose the wave data into its time-frequency components. As the result, it was confirmed that Lamb waves with the dispersive property of the velocity are excited and the waves propagate spirally along the tank wall due to the cylindrical structure of the tank. Taking these results into consideration, we proposed a new technique for identification of the defect location in GIS based on the time-frequency analysis of the acoustic waves using the Wavelet Transform.

キーワード：GIS, フリー異物, 部分放電, 位置標定, ラム波, ウェーブレット変換

Keywords : GIS, free particle, partial discharge, location identification, Lamb waves, wavelet transform

1. まえがき

近年, 変圧器やガス絶縁開閉装置 (Gas insulated switchgear : GIS) などの変電機器の延命化がはかられており, そのためには, 事故を未然に防止するための予測保全の観点からの機器診断技術の開発と適用が要請されている。GIS内の絶縁異常要因の中で, 最も問題となるのは微小な金属異物の存在であり, この検出法として部分放電 (Partial discharge : PD) 等による診断技術が幅広く検討されている^(1,2)。機器外部からの診断手法の一つである音響的検出法は, フリー異物がGISタンク壁に衝突して発する音波およびPD発生に伴う音波を簡便かつ高感度に検出できる^(3,4)。一方, 同検出法は, 反射, 干渉, 速度分散などのために波形形状が複雑で解析が困難であるために, これまでに音波の伝搬特性を詳細に考慮した診断技術の報告例は少ない。

筆者らはこれまで, 超音波信号に基づく電氣的ならびに音響的検出法によるPD特性の検討を行っている⁽⁵⁻⁸⁾が, 今回は, 特に, 音響的検出法を用いたGIS診断技術の確立を目指している。薄い金属板内を伝搬する音波は, その伝搬速度が周波数に依存する分散性を有するラム波と呼ばれている。これまで, 本実験条件でのGISタンク壁中を伝搬する音波は, 零次の非対称モードのラム波であることがわかっている⁽⁸⁾。前報⁽⁸⁾では, ラム波の特徴である速度分散が大きな2つの周波数成分を, デジタルバンドパスフィルタを用いて抽出

してその直達波を求め, その速度差を用いてGIS中PD発生の位置を標定した。一方, 1発の音波発生に伴い検出される超音波信号は, 数msにわたって続くこともあり⁽⁸⁾, その間に発生した他の超音波信号は重畳されて識別が困難になる。そこで, 超音波信号の伝搬理論に基づく, 1発の音波発生に伴う超音波信号の波形の形成要因の理解が必要となる。

ここで, 時間周波数解析とは, 波形データを分解して, 時間と周波数の2次元平面上における波形のエネルギー分布を求める解析であり, 音響信号の解析などに広く適用されている^(9,10)。特に, 分散性弾性波であるラム波のデータ解析に時間周波数解析を適用すれば, 超音波信号の詳細な伝搬経路に基づいた高精度なGIS中の欠陥位置標定が期待できる。

そこで, 本論文では, 最近著しく発展してきた時間周波数解析法の一つであるウェーブレット変換を適用し, 超音波信号の時間周波数解析を行い, GISタンク壁中を伝搬するラム波の伝搬特性を検討した。更に, 実際に, GIS中のPD発生に伴う超音波信号の波形を時間周波数解析し, その超音波信号の伝搬特性を検討した。

2. ウェーブレット変換

測定波形 $f(t)$ のウェーブレット変換は式(1)⁽⁹⁾で定義される。

$$(W_{\psi f})(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$= \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) e^{i\omega b} \overline{\hat{\psi}(\omega)} d\omega \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\overline{}$ は複素共役、 $\hat{}$ はフーリエ変換を表す。 $a (> 0)$ および b は、スケールおよびシフト・パラメータである⁽⁹⁾。今回、基本ウェーブレット関数 $\psi(\omega)$ は、式(3)に示すような、時間周波数空間において局在性が良いとされている Gabor 関数⁽⁹⁾を用いた。

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\omega_0}{\gamma}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\omega_0 t}{\gamma}\right)^2\right] \exp(i\omega_0 t) \quad \dots\dots (3)$$

$$\hat{\psi}(\omega) = \sqrt{\frac{2\pi}{\gamma}} \sqrt{\frac{\gamma}{\omega_0}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\gamma}{\omega_0}\right)^2 (\omega - \omega_0)^2\right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 γ と ω_0 は文献^(9,10)を参考にして、 $\gamma = 5.336$ 、 $\omega_0 = 2\pi$ とした。図1(a)および(b)に、式(3)より得られる周波数 20 kHz および 100 kHz の Gabor 関数 $\psi(t)$ の実数部のみの波形をそれぞれ示す。図2に、図1(a)および(b)の波形をフーリエ変換した周波数スペクトル $\hat{\psi}(\omega)$ (式(4)と同様)を示す。図1および2に示すように、周波数が 20 kHz から 100 kHz、すなわち 5 倍になると $\psi(t)$ の時間幅 T_t が 1/5 倍になり、周波数軸上での半値幅 T_f が 5 倍になることがわかる。つまり、高い中心周波数を持つ $\psi(t)$ は、周波数のバンド幅が大きくなり周波数分解能は低下するが、時間分解能が高くなる。一方、低

い中心周波数を持つ $\psi(t)$ は、周波数分解能は高いが、時間分解能が低くなる。式(1)および(2)からわかるように、ウェーブレット変換後の関数の絶対値 $|(W_{\psi f})(b,a)|$ は、時刻 $t = b$ の近傍における角周波数 ω_0/a の近傍の $f(t)$ の成分の大きさを表す。

実際に、式(1)の積分計算では時間がかかるために、本研究では以下の手順で波形データのウェーブレット変換を計算した。

- ① 測定された波形データ $f(t)$ のフーリエ変換 $\hat{f}(\omega)$ を高速フーリエ変換(FFT)により算出する。
- ② ある a の値について式(4)に基づき、 $\hat{\psi}(a\omega)$ の値を算出する。
- ③ $\hat{f}(\omega)$ と $\hat{\psi}(a\omega)$ の積を算出する。
- ④ 式(2)に基づいて、関数 $\hat{f}(\omega) \hat{\psi}(a\omega)$ の逆フーリエ変換を行い、ウェーブレット変換 $(W_{\psi f})(b,a)$ を算出する。
- ⑤ 種々の a の値について②～④を繰り返す。

数値計算においては、パラメータ a と b を次式のように離散化した。

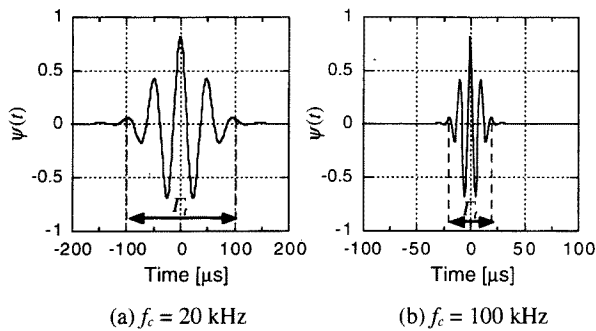
$$a = 2^{m/\Delta t}, \quad b = n \Delta t \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 m, n は整数であり、 Δt は波形データのサンプリング間隔 (サンプリング周波数 f_s の逆数) である。したがって、 f_s/a が周波数、 b が時間を表す。

3. 実験方法

本研究では、まず、厚さの異なる伝搬媒質として、厚さ 3.0 mm の鉄製の平板および厚さ 5.8 mm の鉄製の 66 kV モデル GIS タンクを用いて、ラム波の伝搬特性を検討する。自由金属異物の挙動に伴いタンク底面への異物の衝突によるラム波発生を模擬して、金属異物の自由落下試験を行い、金属異物を自由落下させてラム波を発生させた。

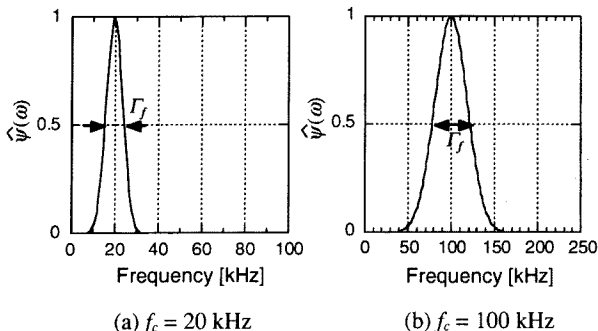
図3に、平板上での実験回路を示す。水平に配置した厚さ 3.0 mm の鉄製の平板 (60 cm × 60 cm) の中央部に、金属異物として直径 1 mm、長さ 10 mm の銅製線を高さ約 2 cm から自由落下させた。なお、異物は縦方向に垂直落下させ、その落下位置は半径 5 mm の円内である。異物には直径 0.1 mm のアルミニウム線を付け、鉄板上の異物落下地点にはアルミニウム製の金属テープを貼り、その線と金属テープに乾電池を使用した回路を取り付け、異物と鉄板上の金属テープとの衝突時に電気信号を得ることで衝突時刻を調べた。発生したラム波を、図3(b)に示すように、中央部から一角の方向への距離 d の位置の裏面に設置した 2 つの共振型の AE センサ (NF 回路製, AE-700S, 共振周波数: 70 kHz) で検出した。検出された超音波信号は、プリアンプ (NF 回路製, 9913) で 40 dB、およびメインアンプ (NF 回路製, AE-922) で 10 ~ 20 dB 増幅し、電気信号と同時にデジタルオシロスコープで 1 MHz のサンプリング周波数で測定した。なお、金属テープを貼ることによる伝搬特性への影響はないことを確認しており、超音波信号の振幅は約 20% 減



(a) $f_c = 20$ kHz (b) $f_c = 100$ kHz

図1 Gabor関数の時間波形

Fig.1. Waveforms of Gabor function.



(a) $f_c = 20$ kHz (b) $f_c = 100$ kHz

図2 図1のGabor関数の周波数スペクトル

Fig.2. Frequency spectra of Gabor function shown in Fig.1.

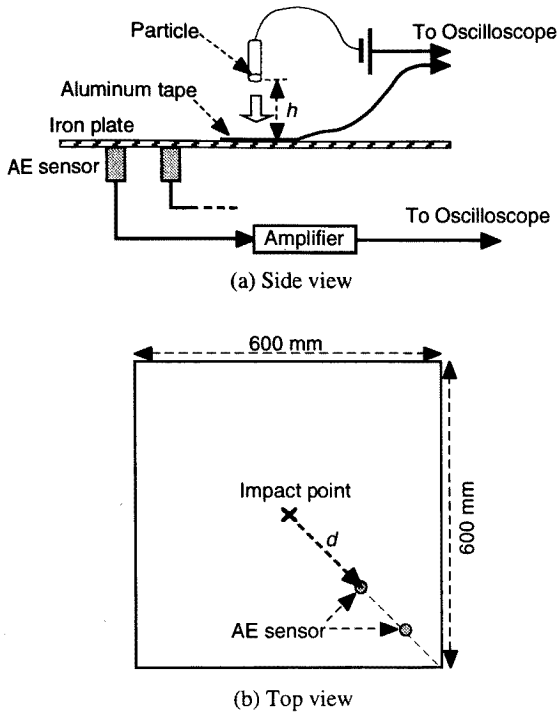


図3 平板中におけるラム波伝搬特性の測定回路
Fig.3. Experimental setup for measuring Lamb waves in a plate.

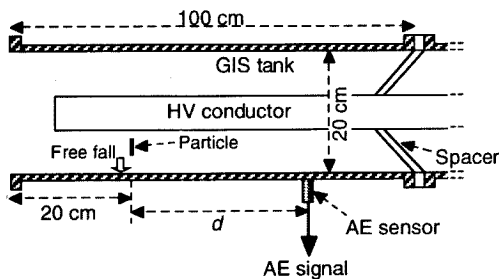


図4 GISタンク壁中のラム波伝搬特性の測定回路
Fig.4. Experimental setup for measuring Lamb waves in GIS tank wall.

少していた。

図4に示すように、GISタンク内において同様の実験を行った。GISタンクは、外径211.6 mm、一区画の長さ1 m、厚さ5.8 mmの鉄製である。タンク端部から20 cmの位置に金属異物を落下させ、前述と同様に、タンク壁中の伝搬距離 d の地点に配置したAEセンサでラム波を検出した。

4. 測定結果

図5(a)~(c)は、鉄板上の実験による測定結果の一例であり、それぞれ、電気信号、センサ距離 d が20 cmの受信信号の波形および(b)の波形データからFFTにより得られた周波数スペクトルを示す。図5(a)から、電気パルスが2回発生しているため、異物がタンク底面に衝突して跳ね上がった

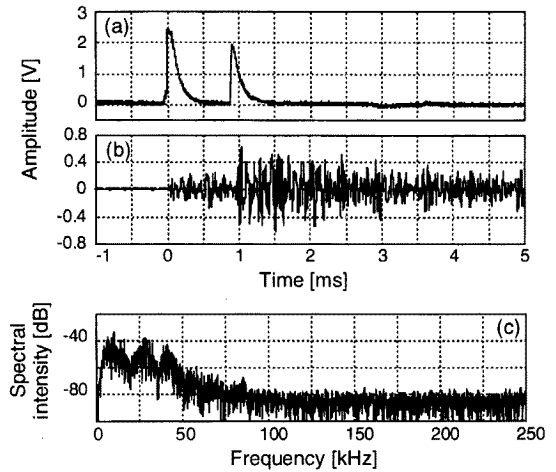


図5 電気信号と超音波信号の波形
Fig.5. Waveforms of the electrical and acoustic signals. (a) electrical signal, (b) acoustic signal ($d = 20$ cm), (c) spectrum of (b) by FFT.

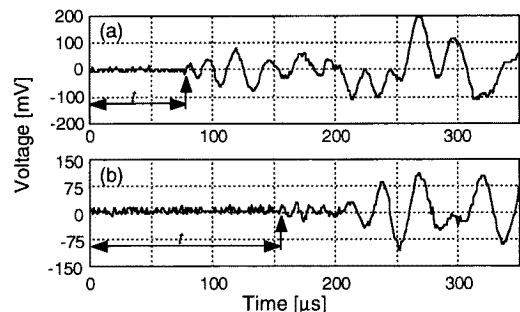


図6 鉄板上で検出された超音波信号波形
Fig.6. Waveforms of acoustic signals measured at a plate. (a) $d = 20$ cm, (b) $d = 40$ cm

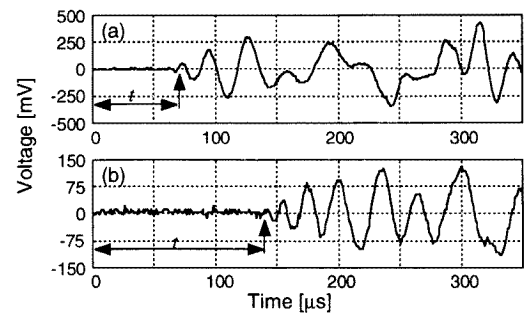


図7 GISタンク上で検出された超音波信号波形
Fig.7. Waveforms of acoustic signals measured at GIS tank. (a) $d = 20$ cm, (b) $d = 40$ cm

後、再度底面に衝突したことがわかる。電気信号は、異物がタンク底面と接触した瞬間に大きく現れ、平伏状態では観測されなかった。図5(b)では、図5(a)に追従して超音波信号が発生していることがわかる。図5(c)から、異物がタンク底面に衝突した際に発生して検出された超音波信号は、約50 kHz以下に大きく現れていることがわかる。以後は、

1回の異物衝突時のラム波の伝搬特性を調べるために、2回目以降の異物衝突時の影響がないように、検出波形の最初の約1 ms間の波形について解析を行う。

図6(a)および(b)に、鉄板上で測定されたセンサ距離 d が20 cmおよび40 cmにおける超音波信号の波形をそれぞれ示す。同様に、図7(a)および(b)に、GISタンク上で測定されたセンサ距離 d が20 cmおよび40 cmの超音波信号の波形をそれぞれ示す。図6および7の各図において、時間0は電気信号の発生時刻である。両図から、実験条件が全く同一ではないため信号振幅の大きさの比較は行わないが、同センサ距離で測定された信号である各(a)および各(b)の波形をそれぞれ比較すると、図7(a)および(b)の到達時間 t の方が図6に比較して小さいことがわかる。すなわち、これは板厚の大きなGISタンクにおける超音波の伝搬速度の方が、板厚の小さな平板のそれに比べて速いことを意味している。また、直達波以降の波形の変動は、それぞれにおいて全く異なることがわかる。

5. 考察

前報⁸⁾で述べたように、ラム波の伝搬速度は図8に示されるように板厚と周波数に依存する。実際に、図6および7の時間波形から超音波信号の伝搬距離を求める位置標定を行う際には、直達波の周波数成分がわからないと、どの周波数の伝搬速度を適用すべきかが問題となる。このため、直達波の周波数成分を詳細に調べる必要があるが、本章では、超音波信号に対してウェーブレット変換を用いた時間周波数解析を検討する。

<5.1> ラム波の時間周波数解析 図9および10に、図6および7の波形データのウェーブレット変換結果を絶対値表示して得られた時間周波数特性をそれぞれ示す。図9および10では、横軸に時間、縦軸に周波数の対数として、

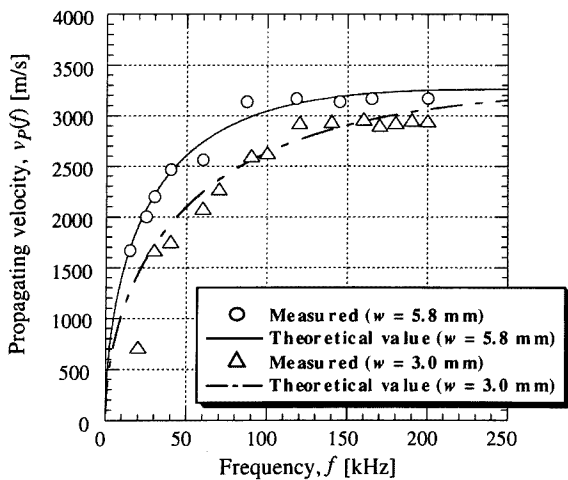


図8 鉄板中の超音波の伝搬速度の周波数依存性
Fig.8. Frequency dependence of propagation velocity of the acoustic waves in the iron plate (plate thickness, $w = 5.8$ mm and 3.0 mm).

ウェーブレット変換の結果の強度を濃淡であらわしており、白い部分が強度が強い部分である。各図中の各周波数成分の直達波のグループとしてみられる直達波群に着目すると、伝搬速度の遅い低周波成分が高周波成分に比べて遅れて現れていることがわかる。また、伝搬距離が大きくなるにつれて低周波成分と高周波成分の時間差が大きくなっている。

金属異物が鉄板またはGISタンク底面に衝突した瞬間から、そのときに発生したラム波がAEセンサに到達するまでの伝搬時間 $t_L(f)$ は式(6)で表せる。

$$t_L(f) = \frac{d}{v_p(f)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 d は超音波信号がタンク壁中を伝搬した距離、 $v_p(f)$ は鉄板中のラム波の伝搬速度(群速度)である。図9および10中の白い実線Aは、センサで観測されるラム波の直達波を考慮し、式(6)に $d = 20$ cm または 40 cm を代入した時の各周波数における伝搬時間 $t_L(f)$ の計算結果である。直達波群の各周波数成分の信号強度の極大値が、各周波数における1, 2周期のズレはあるものの、実線Aにほぼ等しいこ

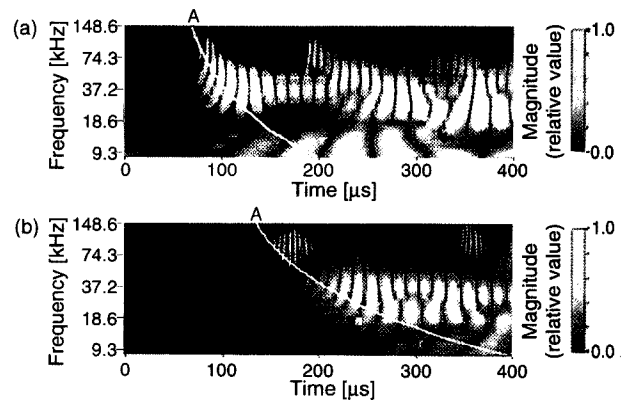


図9 図6の波形データの時間-周波数解析
Fig.9. Time-frequency analysis of the data shown in Fig.6. (a) $d = 20$ cm, (b) $d = 40$ cm.

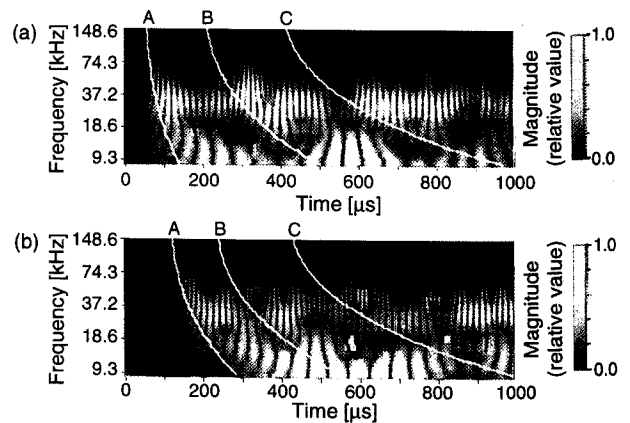


図10 図7の波形データの時間-周波数解析
Fig.10. Time-frequency analysis of the data shown in Fig.7. (a) $d = 20$ cm, (b) $d = 40$ cm.

とがわかる。したがって、超音波信号の直達波群のウェーブレット変換結果から、伝搬距離 d を逆算することで、検出に用いたセンサ位置から金属異物の衝突位置までの直線距離を評価することが可能である。

また、同図中の直達波群以降の時間周波数特性は、伝搬媒体構造による反射や回り込みによる波に起因すると考えられる。そこで、ラム波の伝搬可能な経路を考慮することで、ここでは特に、図10の結果からGISタンク壁における超音波信号波形の解析を試みる。ラム波がその発生位置から板中を円筒波として放射状に伝搬すると考えると、GISタンクの円筒形状に起因して、タンク壁に沿ってらせん状に回り込んでセンサに到達する波の存在が考えられる。図10中の実線Bは、図11中の伝搬経路例として示した実線および点線のように、タンク壁に沿ってらせん状に右回りと左回りに1周回り込んでセンサに到達した波を計算したものであり、実線Cも同様に2周回り込んでセンサに到達した波を計算したものである。それらの実線BおよびCに沿って、各周波数の数周期遅れて信号強度が強くなっていることがわかる。すなわち、タンク端部やハンドホール部での反射波などの波よりも、タンク壁に沿って伝搬して回り込む波による干渉成分が強くなっていることがわかる。これらの結果から、測定された超音波信号を時間周波数解析することで、ラム波の励起位置からタンク壁に沿って放射状にラム波が伝搬することにより回り込む波の存在が確認できた。

<5.2> GIS中のPDによる超音波信号の時間周波数解析 GIS中のPDの発生に伴って放射された超音波信号を測定し、その波形データを時間周波数解析することで、超音波信号の伝搬特性を検討する。実験条件は前報⁽⁸⁾と同じである。0.4 MPaのSF₆ガスが封入されているGIS内の高電圧導体上に、ギャップ長 h を1.4 cmとして設置した銅製の針に交流高電圧を印加してPDを発生させた。なお、超音波信号の発生位置はPD発生箇所と等しいとみなせるので針先端にあたる。超音波信号の測定には、接地線CT法を用いてPDによる電流パルスを同時測定しており、電流パルスの発生時刻を超音波信号の発生時刻としている。

図12に、約20 pCの部分放電による $d = 40$ cm (放射源直下の同軸方向) 時の超音波信号の時間波形を示す。なお、時間軸は、部分放電発生時間を原点としている。図12から、

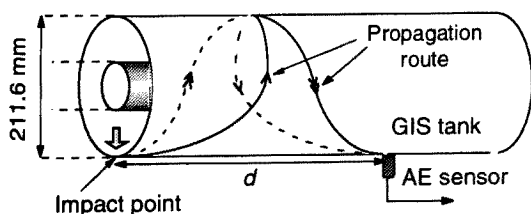


図11 GISタンク壁中の超音波信号の伝搬経路例
Fig.11. Example of propagation route of acoustic waves in GIS tank wall.

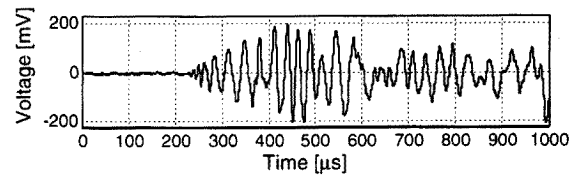


図12 測定されたGIS中部分放電による超音波信号波形
Fig.12 Waveform of a measured acoustic signal of partial discharge in GIS.

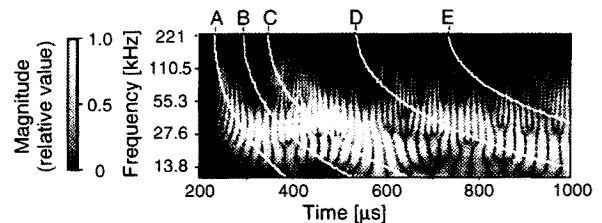


図13 図12の波形データの時間-周波数解析
Fig.13. Time-frequency analysis of the data shown in Fig.12.

約230 μ sに直達波として振幅の小さな高周波信号が現れ、次第に振幅の大きな低周波信号が遅れて現れており、400 μ s付近以降は複数の波形が重畳されたような複雑な波形となっていることがわかる。同図の波形データをウェーブレット変換し時間周波数解析した結果を図13に示す。

GIS内でPDが発生してから、その超音波信号がAEセンサに到達するまでの伝搬時間 $t_{pd}(f)$ は、式(6)のタンク壁中の伝搬時間にガス中の伝搬時間が加算された式(7)で表せる。

$$t_{pd}(f) = \frac{h}{v_g} + \frac{d}{v_p(f)} \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 v_g および $v_p(f)$ はSF₆ガス中(130 m/s)およびタンク壁中の超音波の伝搬速度である。図13中の実線Aは、直達波を考慮し、式(7)に $h = 1.4$ cm、 $d = 40$ cmを代入した時の各周波数における伝搬時間 $t_{pd}(f)$ の計算結果である。約400 μ s以前の直達波群の各周波数成分の信号強度の極大値が、実線Aにほぼ等しいことがわかる。したがって、超音波信号の直達波群のウェーブレット変換結果から、伝搬距離 d を逆算し、式(7)よりガス中の伝搬距離 h を求めることで、検出に用いたセンサ位置からGISタンク内のPD発生位置までの伝搬経路上の直線距離を評価することが可能である。また、前節でも検討したように、実線C、DおよびEは、タンク壁に沿ってらせん状に1、2および3周回り込んでセンサに到達した波を計算したものである。それらの実線C、DおよびEに沿って信号強度が現れていることがわかり、伝搬距離が大きくなるにつれて、高周波成分と低周波成分との速度差により時間差が大きくなっていることがわかる。実線Bは、センサから近い端部における直線的な反射波を計算したもの($d = 60$ cm)であるが、この実線の周辺では、

信号強度が小さいことから、タンク端部からの反射波は小さいことがわかる。他のセンサ位置による超音波波形に対しても、同様な解析結果が得られた。

これらの結果から、PDによる電気信号と超音波信号を検出し、超音波信号の時間周波数解析結果から、信頼性の高い欠陥位置の標定が行える可能性を示した。

6. むすび

GIS中の欠陥位置の標定を目的として、タンク壁中を伝搬するラム波の詳細な波形を解析するために、ウェーブレット変換を適用した時間周波数解析を行った。まず、自由金属異物の挙動によるタンク底面への異物の衝突を模擬した金属異物の自由落下試験を行い、発生したラム波の伝搬特性を調べた。その結果、タンクの円筒構造により回り込む波の存在が確認できた。そして、時間周波数解析結果によるラム波の直達波群から、センサ位置から金属異物の衝突位置までの直線距離を評価できることがわかった。また、GIS中でのPDに伴う超音波信号を電気信号と同時に測定し、その超音波信号の伝搬特性を調べた。その結果、PDによる超音波信号波形の解析も十分に検討できることがわかった。以上の結果および考察から、GIS中の欠陥位置を高信頼度に標定するためには、ウェーブレット変換を用いたラム波の時間周波数解析が非常に有効であることを示した。今後は、ウェーブレット変換を用いたGIS内の欠陥位置の自動標定システムの構築を検討していく予定である。

(平成13年6月15日受付、平成14年1月24日再受付)

文 献

- (1) 電気学会技術報告：「GIS絶縁に及ぼす金属異物の影響」, 第561号(1995)
- (2) 大久保仁：「電力機器の診断技術の現状と今後の課題」, 電学論B, pp.434-437(1999)
- (3) 岡部成光, 財満英一, 山極時生, 石川敏雄：「GIS内金属異物の部分放電特性と診断技術」, 電学論B, Vol.115, No.10, pp.1221-1227(1995)
- (4) L. Lundgaard, M. Runde, B. Skyberg : "Acoustical Diagnosis of Gas Insulated Substations ; A Theoretical and Experimental Basis" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp.1751-1758 (1990)
- (5) 大塚信也, 堀内智哉, 匹田政幸：「モデルGIS内における模擬部分放電放射電磁波の伝搬特性」, 平成11年電気学会電力・エネルギー部門大会, Vol.400, pp.266-267(1999)
- (6) 小迫雅裕, 田志海, 大塚信也, 柴田信之, 匹田政幸：「デジタルフィルタを用いた部分放電放射電磁波からの連続周期的ノイズの除去」, 電学論B, Vol.120, No.7, pp.975-981(2000)
- (7) 小迫雅裕, 向国芬, 田志海, 柴田信之, 匹田政幸：「SF₆ガス中部分放電によるAE波の基礎的特性の検討」, 平成10年電気学会放電研究会, ED-98-167, pp.13-18(1998)
- (8) 小迫雅裕, 大塚信也, 澤井浩司, 匹田政幸：「GIS中の超

音波伝搬特性とそれに基づく新しい部分放電発生位置標定」, 電学論B, Vol.121, No.5, pp.677-682(2001)

- (9) 佐藤雅昭：「ウェーブレット理論の数学的基礎 第1部」, 日本音響学会誌, Vo.47, No.6, pp.405-415(1991)
- (10) 井上裕嗣, 岸本喜久雄, 中西智明, 渋谷壽一：「ウェーブレット変換による分散性応力波の時間周波数解析」, 日本機械学会論文集(A編), Vol.61, No.581, pp.153-160(1995)

小迫 雅裕



(学生員) 1974年8月13日生。97年3月九州工業大学工学部電気工学科卒業。99年3月九州工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年4月同大学院博士後期課程進学、現在に至る。主として、部分放電測定によるGISの絶縁異常診断技術の確立に関する研究に従事。平成11年度電気学会論文発表賞Bおよび平成13年度電気学会優秀論文発表賞受賞。

大塚 信也



(正員) 1971年1月16日生。94年3月九州工業大学工学部電気工学科卒業。96年3月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。98年12月九州工業大学大学院システム情報科学研究科電気電子システム工学専攻博士課程修了。96年4月～98年12月日本学術振興会特別研究員。99年1月日本学術振興会特別研究員PD。同年2月日本学術振興会特別研究員PDを辞退した後、九州工業大学工学部助手、現在に至る。主として、SF₆混合ガスの絶縁特性、GISの絶縁診断を目的とした部分放電計測技術、及び超伝導工学に関する研究に従事。博士(工学)。低温工学協会、放電研究グループ会員。

松久 高士



(正員) 1955年3月29日生。79年3月京都大学工学部電子工学科卒業。同年4月高岳製作所入社、現在に至る。主にガス遮断器の開発設計に従事。技術士(電気・電子部門)。

匹田 政幸



(正員) 1953年10月23日生。82年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了。同年4月同大学助手、89年同講師、92年同助教授を経て、96年4月より九州工業大学工学部電気工学科教授、現在に至る。工学博士。主として、エネルギー機器の高性能化に関する研究に従事。85年8月～87年7月MIT高電圧研究所客員研究員。95年電気学会論文賞、96年電気学会進歩賞。応用物理学会会員、IEEE会員。