

静電気放電発生箇所検出技術の開発

尾前 宏*, 加藤正明**

Development of Technology that Detects Generation Point of ESD

Hiroshi ONOMAE and Masaaki KATO

電子関連企業の製造現場で深刻化している静電気トラブルに迅速に対応するため、静電気放電の発生箇所と時刻を効率よく正確に検出する装置（静電気放電発生箇所検出システム）を開発した。本システムは、被測定領域に4本の受信アンテナを設置し、静電気放電に伴う電磁波が各受信アンテナに到達する時間差から、双曲線法を用いて放電源の位置を算出することを特徴とする。さらに、可視レーザー距離計を用いた治具を用いることで、検出システムの設置や、放電源の特定作業を数分間で完了することが可能となり、放電源の算出精度が高く、検出感度も従来の静電気放電検知器に比べ約15倍以上、高感度であることを確認した。

Keyword: 静電気, 放電源, 特定, 検出, 双曲線

1. 緒言

電子部品の小型化や薄型テレビの大型化などに伴い、電子関連の製造現場では静電気によるトラブルが深刻化しており、既に様々な静電気対策が行われている¹⁾。しかし、県内企業にアンケートを行った結果、対策をしているにもかかわらず、静電気放電破壊によると思われる不良品が不定期に発生し、放電の発生箇所を特定できずに困っているとの回答が多かった。そこで、製造現場で発生している静電気放電の発生箇所と時刻を正確に検出するシステムを考案し、具現化するための研究開発を行った。開発したシステムの概要や評価結果について報告する。

2. 開発したシステムの概要

2.1 システム構成

今回開発した検知システムは、図1に示すように、被測定物の周辺に設置する4本の受信アンテナ、計測器（デジタルオシロスコープ）、制御用PC等で構成され、被測定物において静電気放電が発生した際に発生する電磁波が各受信アンテナへ到達する時間差から放電源の位置を算出する。

受信アンテナ①の設置場所を検知システムの測定基準点とし、受信アンテナ②に対してY軸線上の任意の位置に受信アンテナ③を、X軸線上に受信アンテナ④を設置する。この際、受信アンテナ①と各受信アンテナとの距離を厳密に測長する。

4本の受信アンテナで受信された電磁波は、計測器において、同一時間軸の4チャンネル(ch)分の電圧波形として記録される。そこで得られた受信波形データを制御用PCに取

り込み、最初に各chのデータ毎に電磁波が到達したポイント（電磁波到達点）を特定する。その後、受信アンテナ（ch1）と受信アンテナ②、③、④の電磁波到達点との時間差をそれぞれ求め、受信アンテナの配置と時間差の情報から双曲線法を用いて放電源の位置を算出し、静電気放電を検知した時刻情報も含めて表示、記録する。

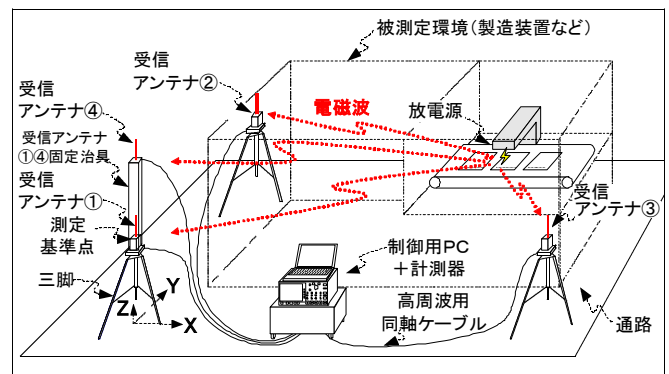


図1 検出システムの機器構成と測定方法

2.2 放電箇所検出手法（双曲線法）

本システムで放電箇所検出するための手法として用いている双曲線法の基本について、図2の[1]～[4]で説明する。まず、図2[1]に示すように、XY平面上の任意の場所に2本の受信アンテナ②、③があり、任意の場所で静電気放電が発生すると、静電気放電に伴い発生した電磁波が2本の受信アンテナ②、③に到達する。この際、放電源からの距離に応じて、電磁波が受信される時間差 t が生じる。受信アンテナ②の配置に対して、 t の受信時間差が生じるのは、放電源の位置が図2[2]で描かれた曲線（双曲線）上に存在するが、その曲線のどこに放電源があるかは特定できない。そこで、図2[3]のように、受信ア

*電子部

** (株) 日本計器鹿児島製作所

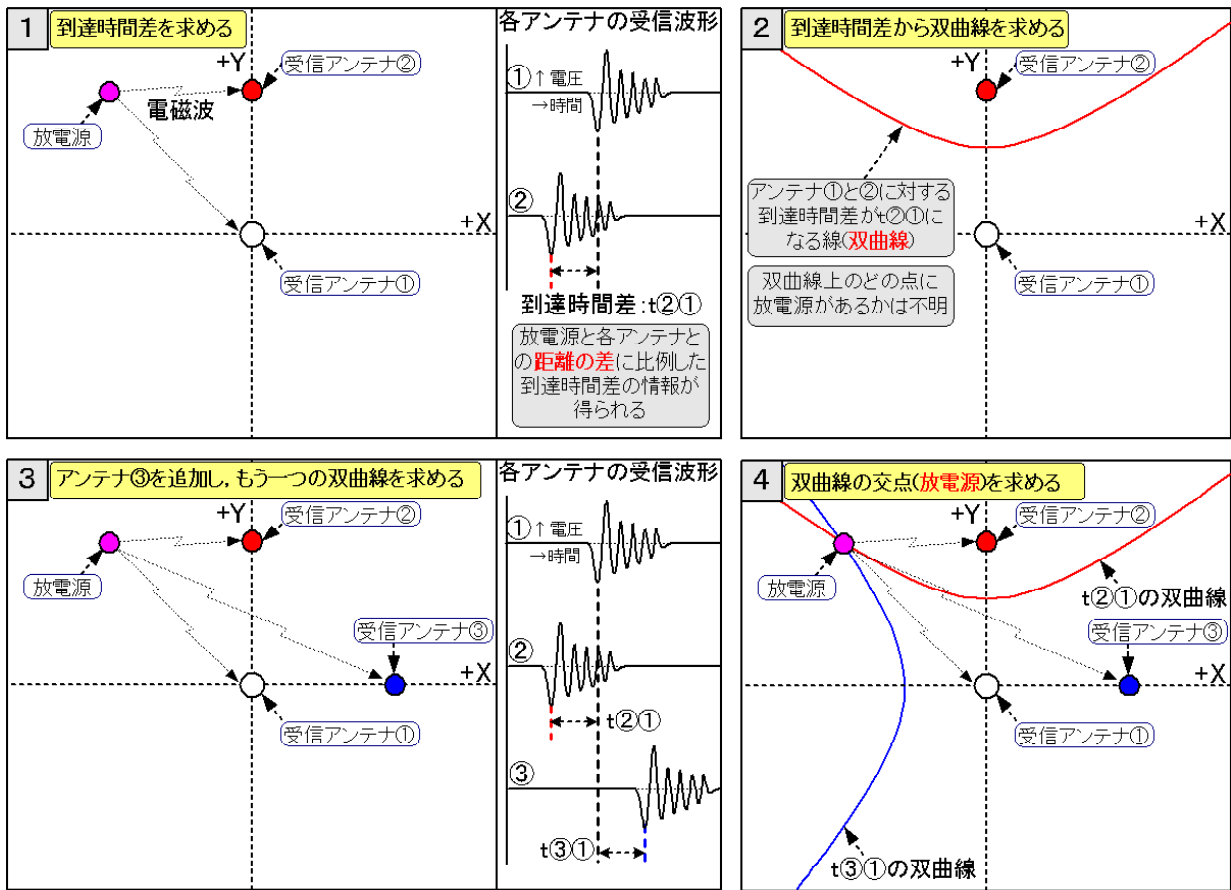


図2 放電箇所検出手法（双曲線法の基本）

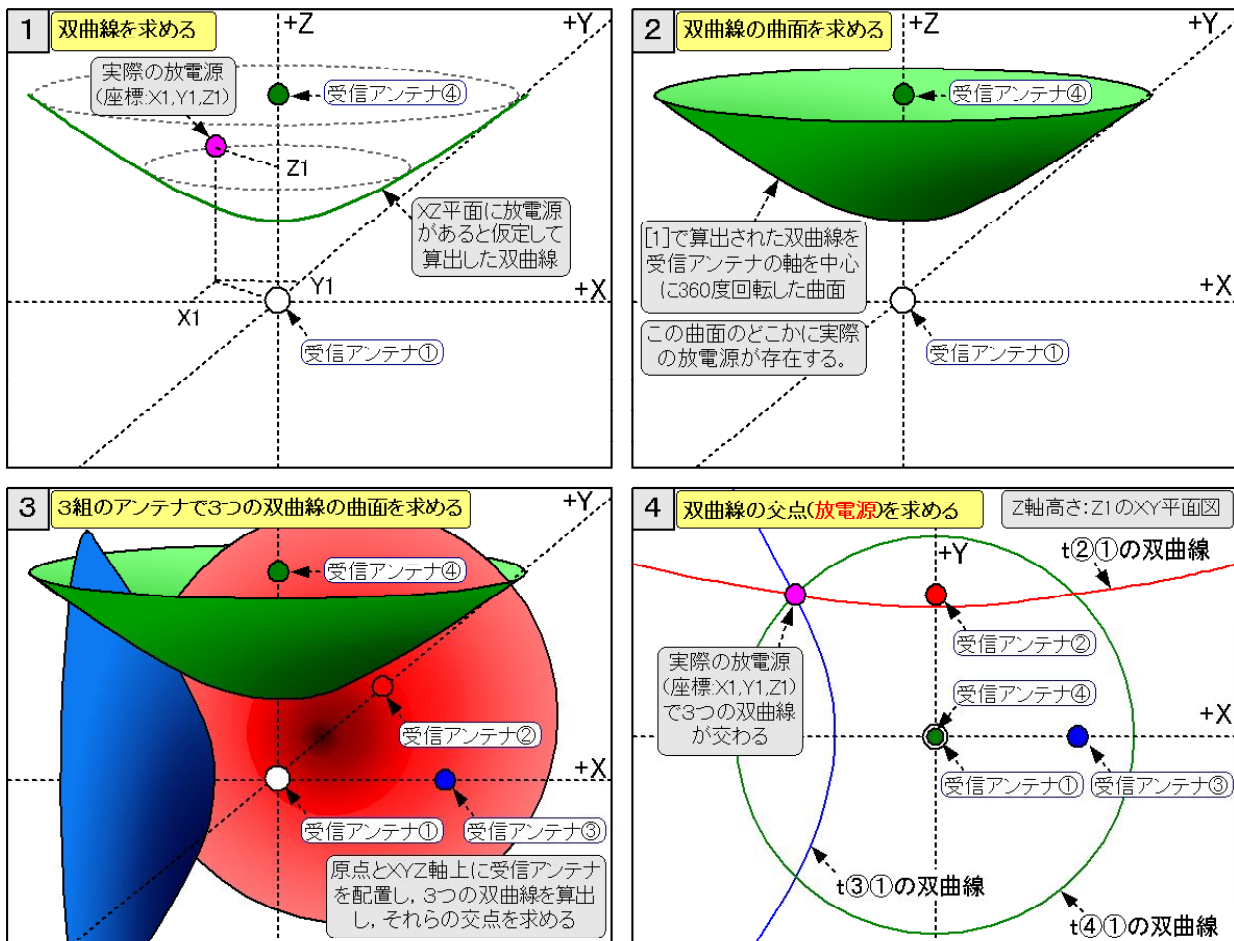


図3 放電箇所検出手法（双曲線法の3次元空間への対応）

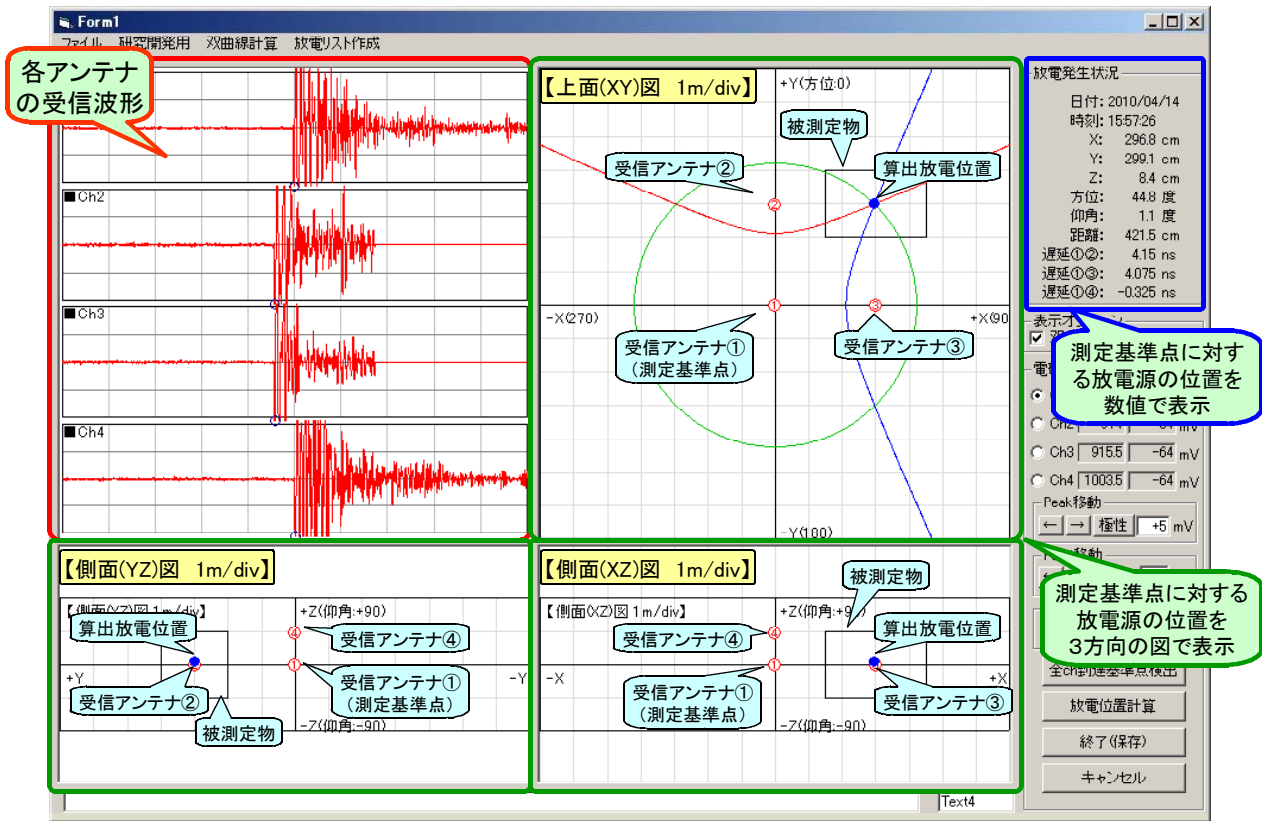


図4 測定結果の表示画面

アンテナを追加することで、図2[4]のように、もう一つの双曲線情報を得て、2つの双曲線の交点を求めることで、XY平面上での放電源の位置を特定することができる。

ただし、実際には3次元空間における放電源の位置を特定する必要があるため、図3[1]のように、更に受信アンテナを追加して3本目の双曲線情報を得る必要がある。

仮にXZ平面上に放電源が存在すると想定し、双曲線を算出するが、実際の放電源は、2本の受信アンテナに対して360度の空間のいずれかに存在している可能性がある。

そこで、図3[1]で算出した双曲線を、図3[2]のように、2本の受信アンテナを結ぶ軸線を中心に双曲線を360度回転させた曲面に展開する。受信アンテナで得られた双曲線についても、図3[3]のように曲面化し、その交点を求めることで、図3[4]のように、3次元空間における放電源の位置を特定することができる。

2.3 測定結果の表示方法

静電気放電に伴い発生した電磁波の波形データや、放電源の位置情報は、図4のように表示される。測定基準点(受信アンテナの設置場所)に対する放電源の位置を数値情報として表示するとともに、受信波形データ、検出システムの配置を基準としたXYZ空間における放電源の位置を、上面(XY)図、側面(YZ)図、側面(XZ)図として表示する。

2.4 検出システムの設置及び放電源の特定方法

この検出システムを実用的に用いるには、4本の受信アンテナを正確に位置合わせして設置する作業と、算出され

た放電源の位置を特定する作業を短時間で精度良く行う必要がある。

そこで、可視レーザー距離計を用いて、照射角度を水平方向(方位角)、垂直方向(仰角)に正確に調整できる治具を開発した(図5)。この治具において、方位角の回転軸中心で、かつ、仰角の回転軸中心の位置に、可視レーザー距離計の距離計測基準点を位置合わせしており、この点を測定基準点とした。

この治具を用いて、検出システムを設置する手順を図6



図5 可視レーザー距離計を取り付けた照射角度調整治具

の[手順1]~[手順4]に示す。

[手順1] まず最初に、静電気放電を測定したい被測定物近くの任意の場所に、可視レーザー距離計を取り付けた照射角度調整治具を設置する。

[手順2] 次に、受信アンテナ を設置する方位を決め、その方位にレーザー光を照射し、その光軸上の任意の距離に受信アンテナ を設置する。その際、レーザー距離計で計測された受信アンテナ までの距離情報を記録する。このとき、照射した方位をY軸とする。

[手順3] 次に、レーザー光を照射する方位を、時計回りに90度変えたX軸上の任意の場所に、受信アンテナ を設置し、受信アンテナ までの距離情報を記録する。

[手順4] 最後に、可視レーザー距離計を取り付けた照射角度調整治具を三脚から取り外し、代わりに受信アンテナ 固定治具を取り付けて、各受信アンテナと計測器を高

周波用同軸ケーブルで接続して検出システムの設置を完了する。

放電源を特定する場合、図7のように、算出された放電源の向き情報（方位角，仰角，直線距離）を用いて、検出システム設置・放電源特定用治具のレーザー光を照射する向き（方位角，仰角）を調整し、算出された距離に反射板を合わせることで特定する方法と、図8のように、算出された放電源のXYZ座標情報をもとに反射鏡を利用して放電源を特定する方法を考案し、レーザー光を精度良く90度反射させる治具も開発した。

これらの方法により、従来、メジャーなどを用いて数時間かけて行っていた受信アンテナの設置作業や放電源の特定作業が約3分ほどに大幅に短縮された。

2.5 試作した模擬放電源

開発した検出システムの性能を評価するため、特徴の異

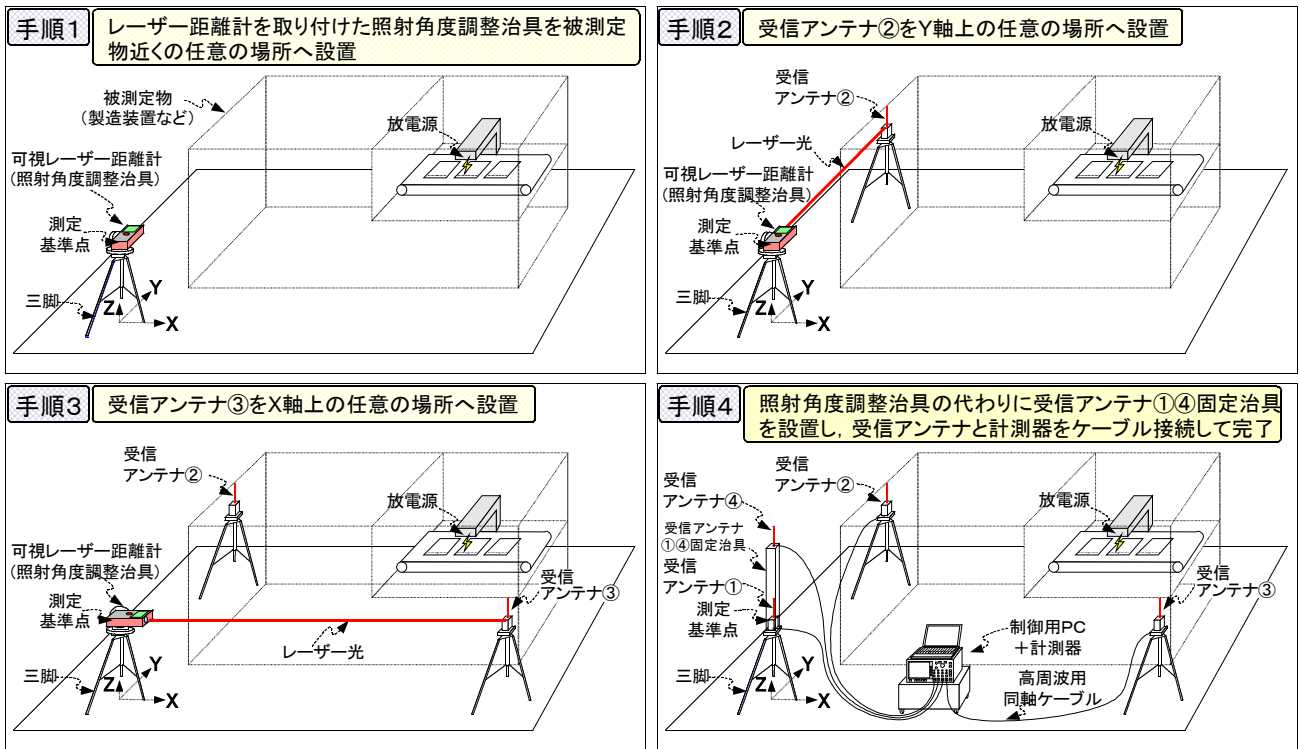


図6 可視レーザー距離計を用いた検出システムの設置手順

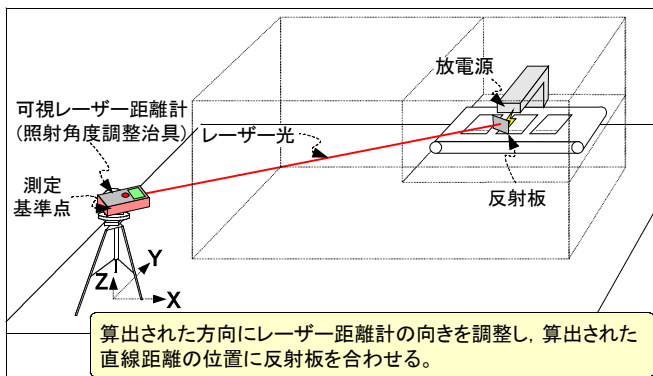


図7 放電源の特定方法1（向き情報を用いる方法）

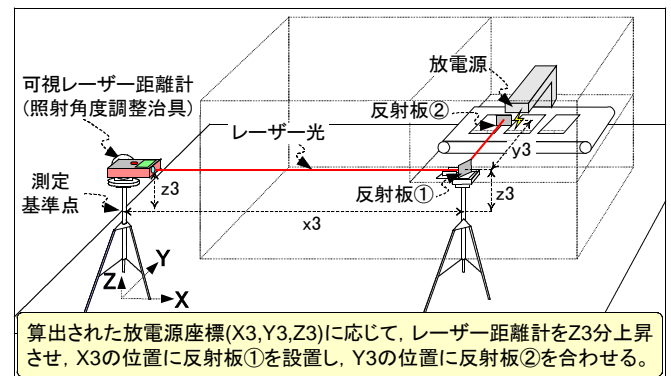


図8 放電源の特定方法2（座標情報を用いる方法）

なる2種類の模擬放電源を試作した(図9)。1つ目の治具は、2つの金属体が衝突することで静電気放電が発生する現象²⁾を利用したもの(金属体衝突放電治具)で、アクリル製の円筒内に2つの金属体を入れ、糸に結びつけた上側の金属体を持ち上げた後、自然落下させて下側の金属体と衝突させることで静電気放電を発生させる仕組みになっている。2つの金属体が衝突する部分が放電源であり、この治具を三脚に固定して用いることで、放電位置の正確な位置合わせや場所の再現性が高い。また、この治具を手を持ち、治具を上下に振ることで放電を発生させられるため、移動する放電源の模擬実験に使うこともできる。ただし、発生させられる放電電圧は比較的低く、放電電圧の制御も難しい。

もう一つの模擬放電源は、市販の静電気放電試験機を用いた治具(静電気放電試験機放電治具)で、アースに接続した金属板に放電ガン先端から放電させる。放電電圧を正確に制御できるため、放電検知レベルの評価等に用いることを想定している。ただし、治具全体が大きいので、取り扱いにくいという問題がある。

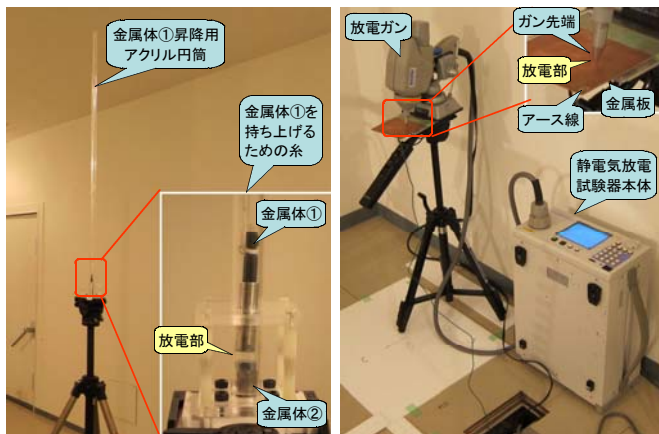


図9 試作した模擬放電源

(左:金属体衝突放電治具 右:静電気放電試験機放電治具)

3. 実験方法

3.1 放電源の算出精度

当センターの電磁環境測定室(電波暗室 内寸:幅4m×奥行7m×高3m)において、検知システムによる放電源の算出位置精度に関する実験を行った(図10)。実験時は、検知システムの測定基準点である受信アンテナ に対して受信アンテナ をY軸線上3m,受信アンテナ をX軸線上3m,受信アンテナ をZ軸線上1mに配置し、模擬放電源をX:3m,Y:3m,Z:0mの位置(受信アンテナ

の対角線上)に配置した。なお、デジタルオシロスコープにはLeCroy WavePro 735Ziを使用し、周波数帯域:3.5GHz,サンプリング速度:20GSa/sの設定とし、模擬放電源には金属体衝突放電治具を使用した(試験条件1)。

併せて、試験条件1から、受信アンテナ の距離を6m,受信アンテナ と模擬放電源の距離も6mに変更した実験も行った(試験条件2)。

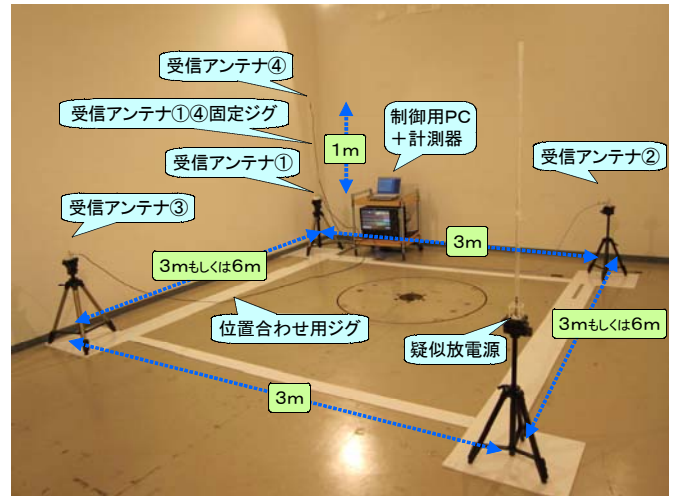


図10 検出システムの実験配置

3.2 従来の静電気放電検知器との性能比較

静電気放電を検知し、アラーム音やLED表示等を行う、従来の静電気放電検知器との検出感度比較を行った。この実験では、放電電圧を制御することが可能である模擬放電源(静電気放電試験機放電治具)を用い、一定電圧で繰り返し放電を行いながら、放電検知器を除々に模擬放電源から遠ざけて、放電検知器が放電を検知しなくなる距離を調べた。

また、開発した検知システムの場合、検知システムの測定基準点である受信アンテナ に対して受信アンテナ をY軸線上3m,受信アンテナ をX軸線上6m,受信アンテナ をZ軸線上1mに配置し、模擬放電源をX:6m,Y:3m,Z:0mの位置(受信アンテナ の対角線上)に配置し、模擬放電源の放電電圧は、放電源で設定可能な最小値である+200Vで実施した。

3.3 移動する放電源のトレース性能

人体や製造装置などが移動しながら放電する様子を高い分解能でトレースできるか確認するため、金属体衝突放電治具を手を持ち、移動しながら、約1秒間隔で放電させ、放電源が移動する様子をトレースする実験を行った。

4. 結果と考察

4.1 放電源の算出精度

試験条件1の場合、模擬放電源を設置した場所(X:3m,Y:3m,Z:0m,方位角:45.0度,仰角:0度,距離:4.24m)に対して、算出された放電源は(X:2.97m,Y:2.99m,Z:0.08m,方位:44.8度,仰角:1.1度,距離:4.22m)となり、XYZ3軸の総合誤差は約9cm,方位角誤差:0.2度,仰角誤差:1.1度という結果となった。

試験条件2の場合 模擬放電源を設置した場所(X:6m, Y:3m, Z:0m, 方位:63.4度, 仰角:0度, 距離:6.70m)に対して,算出された放電源は(X:5.94m, Y:2.91m, Z:0.20m, 方位:63.9度, 仰角:1.7度, 距離:6.62m)となり,XYZ3軸の総合誤差は約23cm,方位角誤差:0.5度,仰角誤差:1.7度となり,いずれの試験条件においても,かなり高い精度で放電位置を算出できることが分かった。

なお,誤差の要因としては受信アンテナや放電源の設置位置の誤差,受信波形から遅延時間を算出する際の誤差などが考えられるが,水平方向の角度(方位角)に比べ,垂直方向の角度(仰角)の誤差が比較的大きく,誤差の傾向も似ていることから,受信アンテナを保持するための治具を三脚に取り付ける際の垂直角度が微妙に傾いていた可能性が考えられるので,水準器などを用いることで,より厳密な角度調整をすることで軽減できると思われる。

4.2 従来の静電気放電検知器との性能比較

従来の静電気放電検知器では,放電電圧が低くなるにつれて放電を検知できる距離が短くなり,模擬放電源で設定可能な最小電圧(+200V)の場合,放電源に対して検知器を約45cmまで近づけないと放電を検知できないという結果となった。これに対し,今回開発した検出システムの場合,測定基準点である受信アンテナから直線距離で6.7m離れていても,設定電圧が+200Vでも電磁波を検知し,放電源の位置を算出することができ,従来機に比べて,約15倍以上高感度であることが分かった。

なお,放電を検出可能な距離は,測定を行う環境(壁面からの反射波の影響や放電源の違い)等により,変化することが考えられる。

4.3 移動する放電源のトレース性能

金属体衝突放電治具を手に持ち,約1秒間隔で放電させながら,図11に示すように検出システムの周囲を移動した結果,放電源の移動する様子を高い分解能で可視化できることを確認した。これにより,静電気放電源の時間的な移動状況を確認することが可能となり,静電気放電の発生原因を特定するための重要な手がかりを得られることを確認できた。

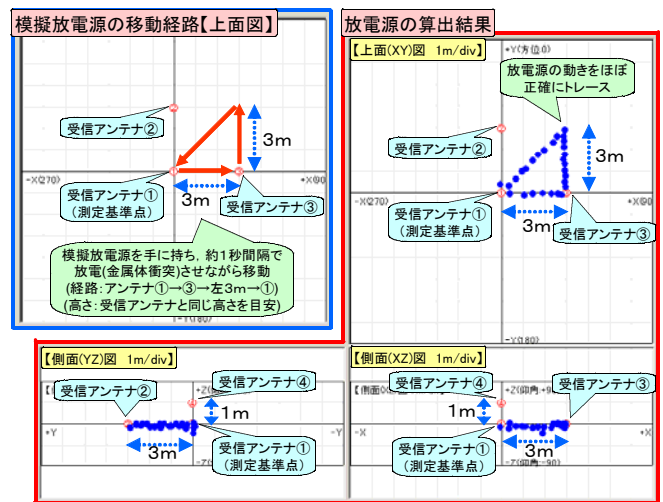


図11 移動する放電源のトレース結果

5. 結 言

これまでの研究開発により,受信アンテナの設置技術や放電源の位置特定技術については,ほぼ実用的なレベルに達することができた。また放電源の検出精度や検出感度についても実用性が高いことが分かった。今後は,静電気放電位置の算出精度の向上や静電気以外の電磁波との識別技術,実環境におけるユーザーニーズへの対応など,残された技術課題を早急に解決して検知システムの実用化を目指したい。

謝 辞

本成果の一部は,(独)科学技術振興機構(JST)の平成20年度地域イノベーション創出総合支援事業(FS事業)及び,平成21年度地域イノベーション創出総合支援事業(地域ニーズ即応型)により得られたものである。

参 考 文 献

- 1) 藤江明雄:2005年度静電気障害防止技術シンポジウム,静電気学会,33-38(2005)
- 2) 本田昌實:電子情報通信学会技術研究報告 環境電磁工学,96(580),33-40(1997)