

静電気放電発生箇所検出システムの実用化に関する研究

尾前 宏*, 加藤正明**, 仲覚太郎**, 山崎淳一**, 神園勝浩**

Development of a practical ESD detector system

Hiroshi ONOMAE , Masaaki KATO , Kakutarō NAKA , Junichi YAMASAKI and Katuhiro KAMISONO

電子関連企業で深刻化している静電気トラブルに対応するため、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開発した。被測定領域に4本のアンテナを設置し、静電気放電に伴う電磁波が各アンテナに到達する時間差から放電源の座標を算出する。実際の電子部品製造環境に対応させるため、検出システムを小型化し、台車に搭載することで可搬性や作業性を向上させるとともに、静電気以外の外来電磁波の影響を軽減させる機能の追加を行うことで実用性を高めた。実際の電子部品製造環境で発生していた静電気放電現象を検出し、その原因究明もできた。

Keyword : 静電気, 放電, 検出, 特定, 双曲線

1. 緒言

電子部品の小型化や高機能化などに伴い、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既に様々な静電気対策が行われている¹⁾。ところが、県内企業に行ったアンケートによると、静電気放電が原因と思われる不良品の発生を完全に無くす事は難しく、いつ、どこで静電気放電が発生したかを特定できずに困っているとの回答が多かった。静電気放電等の発生位置を特定する研究²⁻⁵⁾も行われていたが、そのままでは、条件の異なる様々な生産現場等で、実用的に用いることは難しいと思われた。そこで、様々な製造工程に柔軟に対応し、実用的に使用可能な静電気放電発生箇所検出システムを開発した。本研究で開発したシステムの概要や評価結果、実環境で発生していた静電気放電の検出事例などについて報告する。

2. 開発したシステムの概要

2.1 システム構成

今回開発した検出システムは、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(以後、アンテナ)、計測器(Digital Storage Oscilloscope : DSO)、制御用PC等で構成される。アンテナ①の設置場所を検出システムの測定基準点とし、アンテナ①を原点としたY軸線上にアンテナ②を、X軸線上にアンテナ③を、Z軸線上にアンテナ④をそれぞれ設置する。アンテナ①とアンテナ②、③、④との距離は、それぞれ任意で良いが、厳密に測長する必要がある。

静電気放電が発生した際の電磁波は、4本のアンテナで受信され、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、各chのデータ毎に、電磁波が到達したポイント(電磁波到達基準点)を特定する。その後、アンテナ①(ch1)とアンテナ②、③、④(ch2, 3, 4)の電磁波到達基準点との時間差をそれぞれ求め、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、静電気放電を検出した時刻情報も含めて表示や記録を行う。

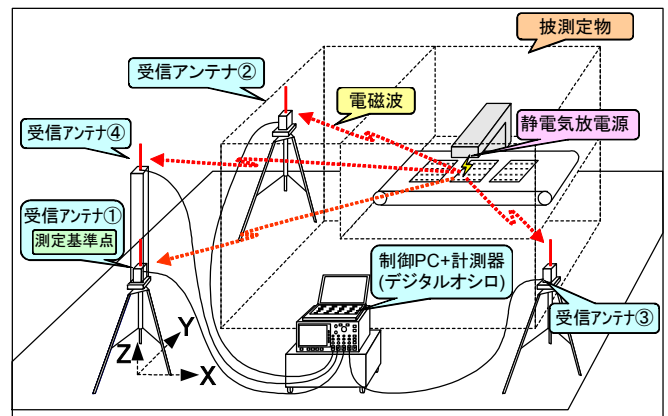


図1 検出システムの概念図

2.2 放電箇所検出手法(双曲線法)

双曲線とは、ある平面に存在する2点からの距離の差が一定であるような曲線の総称である。

図2において、XY平面の原点にアンテナ①、Y軸線上の任意の位置にアンテナ②、X軸線上の任意の位置にアンテナ③が存在し、XY平面上の任意の場所に放電源が存在しているとする。

放電に伴い発生した電磁波は、各アンテナと放電源との距離に応じた時間差を伴って、各アンテナに到達し、例えば、アンテナ①と②の場合、 $t_{②①}$ の到達時間差が生じる。

*生産技術部

** (株)日本計器鹿児島製作所

逆に、アンテナ①②に対する到達時間差から放電源の位置を求める場合、アンテナ①②と放電源との距離の差が $t_{2①}$ となる点は無限に存在し、それらの点を結んだ曲線が双曲線 $t_{2①}$ であり、その線上のどこに放電源があるかは特定できない。そこで、アンテナ①と③とで得られる双曲線 $t_{3①}$ も求め、2つの双曲線の交点を求めることで、XY平面上の放電源の位置を特定することができる。

実空間の場合、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、Z軸上にアンテナ④を追加し、XZ平面における双曲線を求める。

実際の放電源は、アンテナ④①を結ぶ軸線に対して360度の空間のどこに存在しているか分からないため、図3[1]で算出した双曲線を、図3[2]のように、2本のアンテナ④①を結ぶ軸線を中心に360度回転させた曲面に展開する。

アンテナ②①、③①で得られた双曲線についても、図3[3]のように曲面化し、それらの双曲線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。

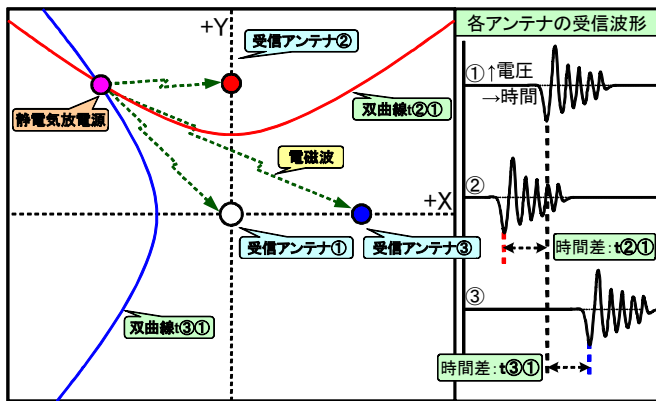


図2 双曲線法(基本)

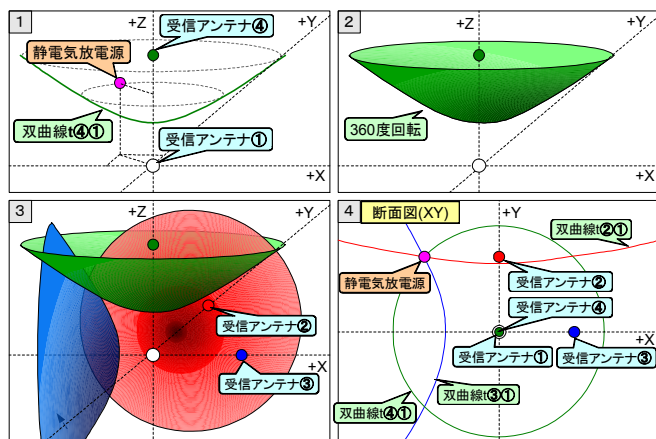


図3 双曲線法(実環境(3次元空間)への応用)

なお、複数の場所で、ほぼ同時に静電気放電が生じると、それらの電磁波が合成され、放電位置を正しく算出できない場合がある。また、電磁波を反射する金属体などで、受信アンテナに直接波が到達しない場合、アンテナ間の電磁

波到達時間差を正しく求められず、算出誤差の要因となる。そこで、反射物が多い環境の場合、アンテナ間隔を狭くし、全ての受信アンテナに直接波が届くように工夫する必要がある。

2.3 試作した検出システム

図1の基本構想に基づき、最初に開発したシステムを図4に示す。このタイプは、アンテナ②、③を個別に設置するため、アンテナの間隔を広くとれるので、比較的広い測定領域で発生する静電気放電の発生源を高い精度で算出可能である。しかし、測定場所を変える度に、アンテナ②③を設置する作業が必要であったため、図5に示すように、全アンテナを1つの治具に取り付け、システム全体を台車に搭載したシステムを開発した。

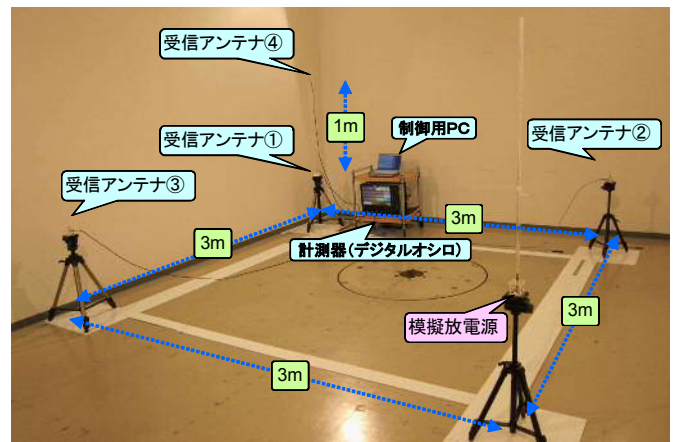


図4 検出システム1(アンテナ②③分離タイプ)

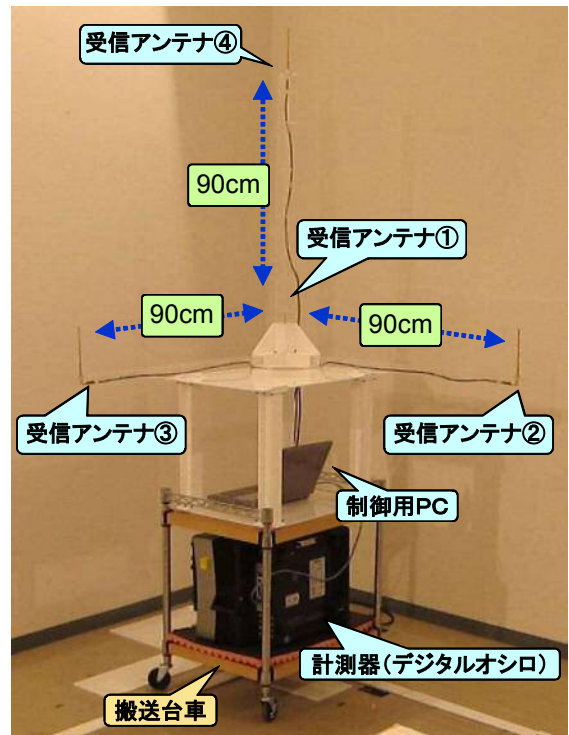


図5 検出システム2(全アンテナ一体型)

このシステムでは、アンテナの位置合わせ作業が不要となり、可搬性も大幅に向上し、広い製造工程内を、通路に沿って複数の領域に分割して監視するような運用方法が可能となった。

図6に、本システムの制御ソフトの表示画面を示す。本制御ソフトでは、計測器の設定、アンテナや被測定物の配置情報、双曲線法による放電源の算出などを行う。画面上には、受信波形データ、放電源の算出結果、放電源の位置を示す図(XY図, XZ図, YZ図)を表示する。

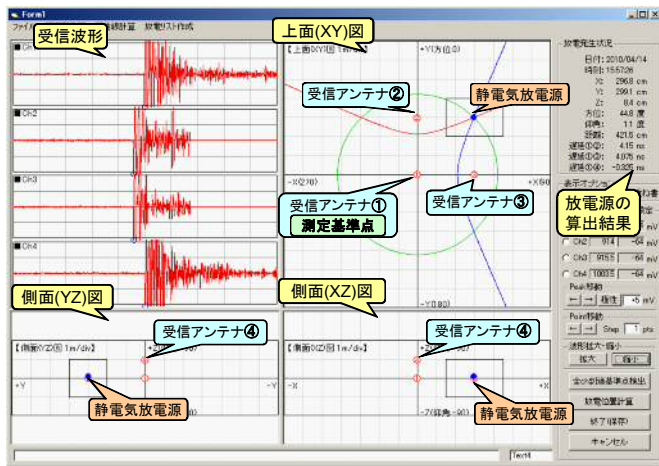


図6 検出結果の表示画面

3 評価実験

3.1 放電源の算出精度

双曲線法により放電源の位置を算出する際の誤差は、各アンテナの設置位置の誤差(誤差要因1)、各アンテナから計測器までの電気長の違いによる誤差(誤差要因2)、検出システムで用いる計測器(DSO)のサンプリング速度による誤差(誤差要因3)などが主に考えられる。

誤差要因1については、測定前の位置合わせ作業を厳密に行うことで対応することとし、誤差要因2については、実際に使用する4本のアンテナと同軸ケーブル類の電気長の違いを実験で求め、解析ソフト上で補正することで対応した。誤差要因3については、計測器自体の性能であり、理論的に求めることができるため、表1の条件において理論的に生じる誤差の計算を行った。

表1 放電源の算出精度の計算条件

受信アンテナ間隔	②①, ③①, ④①とも90cm
放電源の位置	【条件1】 X:3m, Y:3m, Z:0m
	【条件2】 X:2m, Y:2m, Z:0m
	【条件3】 X:1m, Y:1m, Z:0m
サンプリング速度	20GS/s

3.2 波形的特徴を用いた静電気放電の識別性能

電子部品の製造現場には、静電気放電以外にも、製造装置のモータ等から不定期に電磁波が生じている場合が多い。それらの電磁波の中から、静電気放電に伴い発生する電磁波を識別するため、静電気放電に伴う電磁波の波形的特徴を利用する方法を検討した。これまでの実験を通じて静電気放電に伴う電磁波は、パルス発生後、非常に短時間(実験では200ns以内)に収束するという特徴があった。

そこで、図7に示すように、第1段のEdgeトリガによってパルスの発生を検知し、第2段のPass/Failトリガによって200ns以内にパルスが収束するかどうかの判定を行い、静電気放電であると判断した場合のみ制御用PCへ通知し、図8のように、外来電磁波であると判断した場合には、即座に第1段階のトリガ待ち状態へ復帰する判定方法を用いることとした。様々な外来電磁波が不定期に生じる環境下で、静電気放電に伴う電磁波を検出するためには、なるべく短時間で、静電気放電かどうかの判定をする必要があるため、上記のトリガ機能が1秒間に実行可能な回数を評価した。

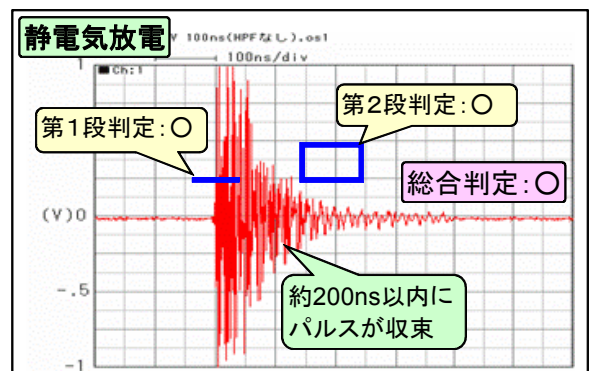


図7 静電気放電検出時の2段階トリガ判定

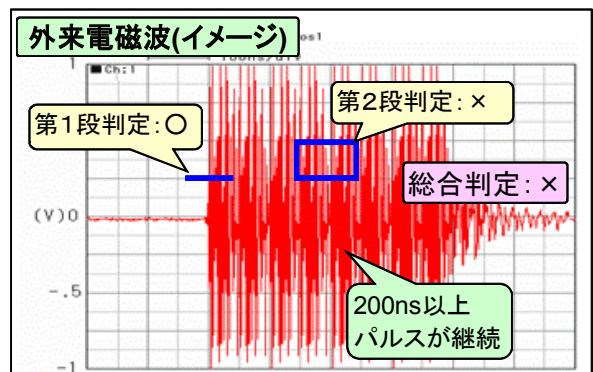


図8 外来電磁波検出時の2段階トリガ判定

3.3 周波数的特徴を用いた静電気放電の識別性能

静電気放電に伴う電磁波のパルスは、非常に広帯域で、数十GHzに及ぶ周波数成分まで含まれている。

そこで、比較的、低い周波数成分しか持たない外来電磁波の影響を軽減することで、静電気放電に伴う電磁波の識

別性能を向上させるため、受信用アンテナに、高周波帯域用のBPF(バンドパスフィルタ)とプリアンプを追加することで、外来電磁波の影響の軽減を図った。

今回使用したBPFとプリアンプの仕様を表2に示す。従来から使用していた受信アンテナに対し、BPFとプリアンプを追加した際の効果に関する比較実験を行った。

表2 BPFとプリアンプの主な仕様

BPF	中心周波数	2.4GHz
	挿入損失	1.2dB(Max)
	用途	W-LAN/Bluetooth
プリアンプ	使用素子	GALI-39
	電源電圧	DC12V
	増幅周波数	300MHz~8GHz
	増幅率	約25dB以上

4. 結果及び考察

4. 1 放電源の算出精度

表1の試験条件における計算結果を表3に示す。アンテナ間隔が90cmの場合、条件1のように、測定基準点からX:3m, Y:3m, Z:0mと離れている場合、約20cmほどの誤差が生じることが分かった。これに対し、条件2, 条件3と、放電位置が検出システムに近づくにつれて、算出誤差が小さくなることが分かった。よって、検出された放電源の位置が比較的遠い場合、算出された放電源の近くに、本システムを設置し直して再測定することで、より正確に放電位置を特定するなどの工夫も必要であると思われる。

表3 放電位置に対する算出誤差(理論値)

放電源の設定	【条件1】 X:3m, Y:3m, Z:0m		【条件2】 X:2m, Y:2m, Z:0m		【条件3】 X:1m, Y:1m, Z:0m		
	理論値	20GS/s (0.05ns) 単位	理論値	20GS/s (0.05ns) 単位	理論値	20GS/s (0.05ns) 単位	
遅延時間 (ns)	t②①	1.9356	1.95	1.8196	1.8	1.3641	1.35
	t③①	1.9356	1.95	1.8196	1.8	1.3641	1.35
	t④①	-0.3147	-0.3	-0.4658	-0.45	-0.8736	-0.85
算出放電源座標 (cm) ()は誤差	X	300	322(+22)	200	190(-10)	100	99(-1)
	Y	300	322(+22)	200	190(-10)	100	99(-1)
	Z	0	-1(-1)	0	4(+4)	0	2(+2)

4. 2 波形的特徴を用いた静電気放電の識別性能

表4に示すように1GHzの正弦波を外来電磁波と見立てて2段トリガの判定回数を調べた結果、1秒間に394回判定可能で、十分な処理速度を有していることが分かった。

表4 2段トリガ機能の判定回数(実測値)

使用機種	LeCroy WavePro 735Zi
トリガ方法	第1段:Edge 第2段:Pass/Fail
試験条件	20SG/s 4ch 20kpoints
評価用波形	正弦波(1GHz)
1秒間の判定回数	394回

4. 3 周波数的特徴を用いた静電気放電の識別性能

図9に示すように、模擬試験環境(電波暗室)内において、①ノーマルアンテナ, ②ノーマルアンテナ+プリアンプ, ③BPF付アンテナ, ④BPF付アンテナ+プリアンプのアンテナを約1.7cm間隔で一列に配置し、そこから約3mの距離に、模擬放電源(金属衝突治具)を配置し、放電を発生させた。

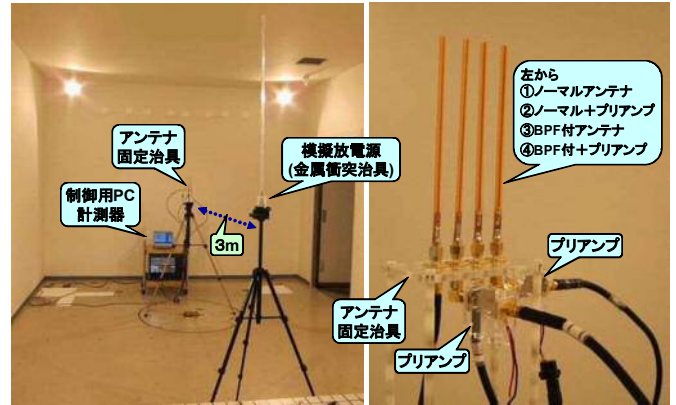


図9 BPFやプリアンプの効果に関する比較実験

その結果、プリアンプを追加した②と④では、図10に示すように、受信感度が大幅に増幅され、オーバーレンジ状態となった。

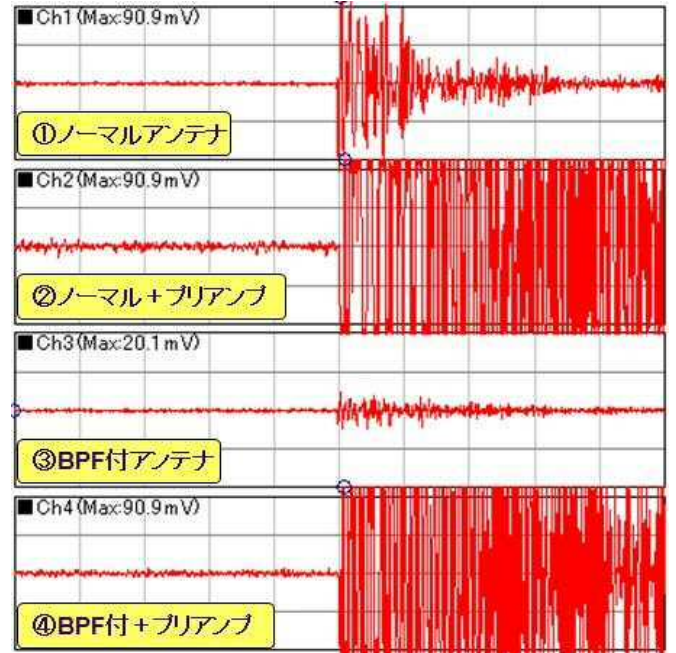


図10 比較実験結果(電圧レンジ20mV/div統一時)

そこで、最大受信電圧を確認するため電圧レンジを各ch毎に調整した図11で比較すると、ノーマルアンテナにBPFを付けると感度が約7分の1に低下する(①と③の比較)が、プリアンプを追加することで、感度が約60倍(③22mV→④1249mV)に増幅され、電磁波到達基準点を算出するのに十分な波形が得られることが分かった。

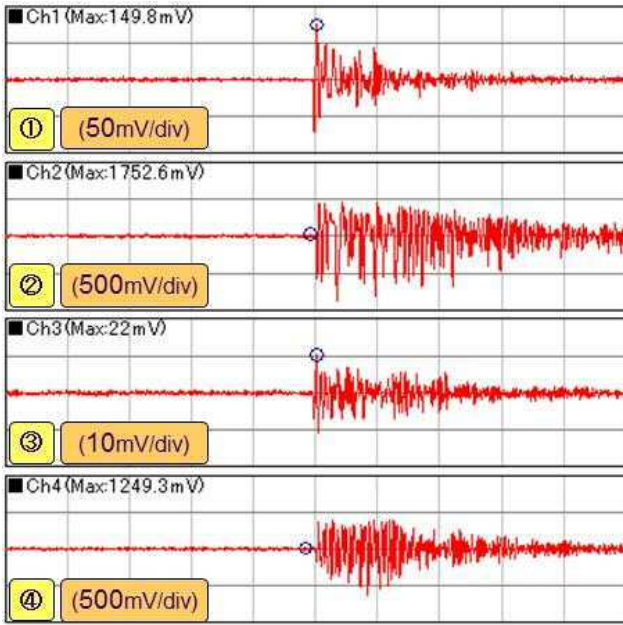


図11 比較実験結果(電圧レンジを各ch毎に調整時)

5. 実環境での放電検出事例

共同研究者である(株)日本計器鹿児島製作所における静電気放電の発生状況を調査した中から、電子部品の加工装置における放電検出事例を示す。

この工程では、図12に示すように、受信アンテナ一体型治具を加工装置の部品排出装置付近に設置して測定した結果、図13～図15に示すように、排出装置の動きに連動して、約3秒間隔で放電が発生する事が判明した。

この排出装置では、加工済みの部品を金属製の排出用レールへ機械的に押し出す機構となっており、電子部品と排出装置とが高速に接することが静電気放電の発生原因と考えられたため、部品と金属性レールが衝突しないよう、生産設備の部材を変更するなどの対策を行い、改善を図った。

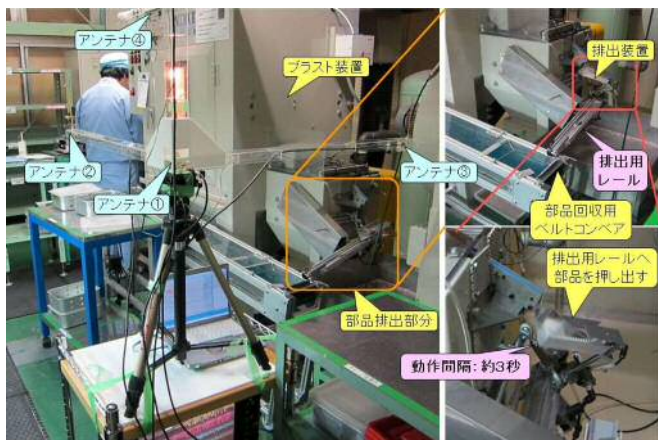


図12 実環境での測定配置

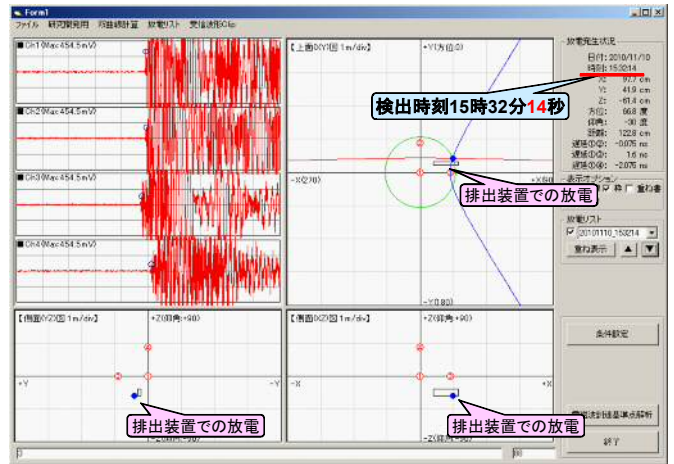


図13 検出結果 1

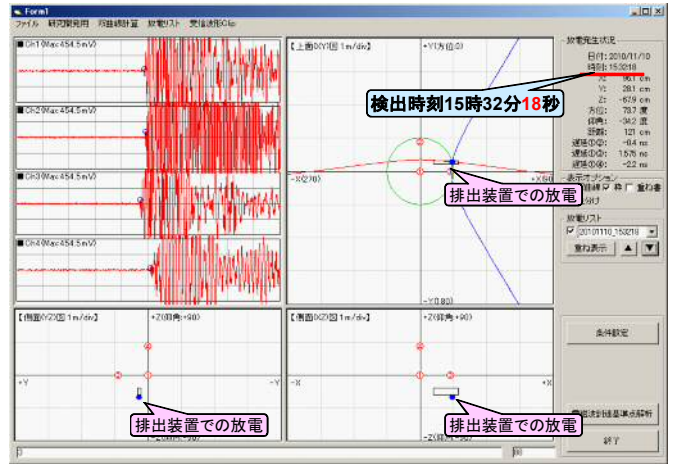


図14 検出結果 2

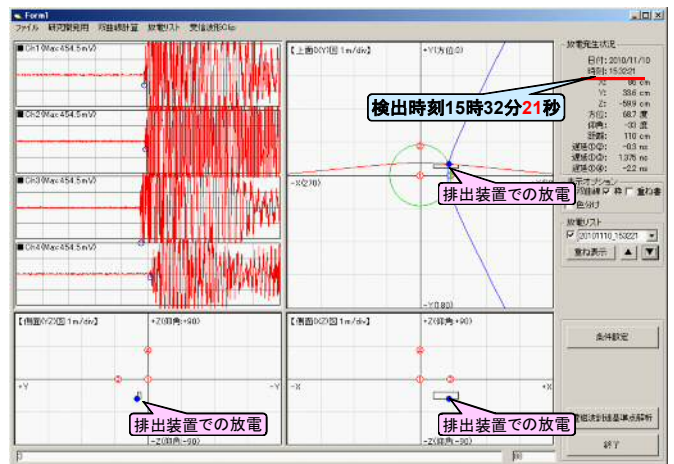


図15 検出結果 3

6. 結 言

今回の技術開発により、実環境での実用性がさらに向上し、実際の電子部品製造工程で発生していた放電源とその発生原因も特定することができた。今後は、講習会などを通じて本システムを幅広く公知するとともに、電子関連企業への技術指導などに活用したい。

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～22年度の研究成果最適展開支援事業(地域ニーズ即応型)により実施した。その支援に謝意を表す。

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) 藤江明雄：第13回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集，193-198（2003）
- 3) Joe Bernier, Gregg Croft, and Rex Lowther：EOS/ESD Symposium 97, 83-87（1997）
- 4) Don L. Lin, Louis F. DeChiaro, MinChung Jon：EOS/ESD Symposium 97, 88-98（1997）
- 5) 渡辺壮一ら：電子情報通信学会論文誌. B, 通信 J84-B(6), 1033-1042（2001）