

静電気放電発生箇所可視化技術の開発

尾前 宏*

Development of ESD generating part visualization technology

Hiroshi ONOMAE

電子関連企業などで深刻化している静電気放電トラブルに対応するため、被試験体の近くに、静電気放電の発生を監視する装置を設置し、放電を検知すると、ほぼリアルタイムに、被測定物を撮影した動画画像上で、放電の発生する様子を可視化する手法を考案し、特許を取得した（特許 第5374687号）。

試作した検証装置の場合、放電位置の算出精度は約±1度以内、短時間に多発する放電現象を最短約1μ秒間隔（1秒間に100万回のペース）で検出可能であり、帯電した電子部品による放電現象や、実際の製造工程で発生していた放電現象も検出できることを確認した。

Keyword : 静電気, 放電, 可視化, 検出, 双曲線

1. 緒言

電子機器の小型化や高機能化などに伴い、電子部品の製造現場などでは、静電気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⁾。

従来、静電気放電の発生源を特定する方法として、静電気放電に伴う電磁波を検知し、ブザー音やLED表示などで静電気放電が発生した事を知らせる技術、複数の受信アンテナに対する受信強度差や時間差から発生位置を特定する技術が開発されていた^{2)~5)}。しかし検出可能な範囲が狭い、放電源の算出精度が悪い、レスポンスが悪く、短時間に多数の放電が生じる事例に対応できないなどの問題があった。そこで、これらの問題点を解決し、静電気放電の発生場所や発生時刻、被測定物のどんな挙動で放電が発生したかを、高い精度、高い感度、高い即応性で実現可能な静電気放電発生箇所可視化技術を開発した^{6)~11)}。

本報告では、可視化技術の概要や性能の評価結果、可視化事例などについて報告する。

2. 可視化技術の概要

2.1 システム構成と可視化の流れ

今回、開発した可視化システムは、図1に示すように、4本の受信アンテナ、ビデオカメラ、計測器（デジタルオシロスコープ：DSO）、制御用PCなどで構成されている。監視時は、同システムを被測定物の近くに設置して、放電に伴う電磁波の発生を監視するとともに、被測定物のビデオ画像を制御用PCのメモリ上で、無限ループ保存し続ける。放電に伴う電磁波を検知すると、4本のアンテナへ電磁波が到達した時間差から放電源の座標を算出し、放電が発生

した瞬間のビデオ画像（静止画）の該当位置にマーキング表示することで、ほぼリアルタイムに放電源を特定することができる。

また、ハードディスクに記録した測定結果を繰り返し確認することもできる。4本のアンテナとビデオカメラは、一体化されており、可視化システムの移動や監視作業を短時間かつ容易に行える。

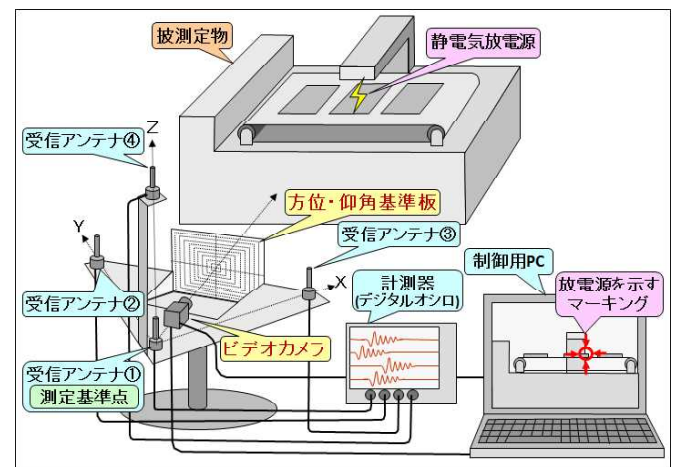


図1 静電気放電発生箇所可視化システム概念図

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点に対する距離の差が一定であるような曲線の総称である。

図2のようなXY平面の場合、未知の座標にある放電源で生じた電磁波が、アンテナ①と②、①と③に到達する時間差 ($t_{2①}$, $t_{3①}$) で得られる2つの双曲線の交点を求めることで、放電源の座標を特定できる。

3次元空間の場合、図3に示すように、さらに、Z軸線

*生産技術部

上にアンテナ④を追加し、合計3つの双曲線の交点を求める事で、3次元空間での放電源の座標と、アンテナ①に対する向き情報(方位, 仰角)が得られる。

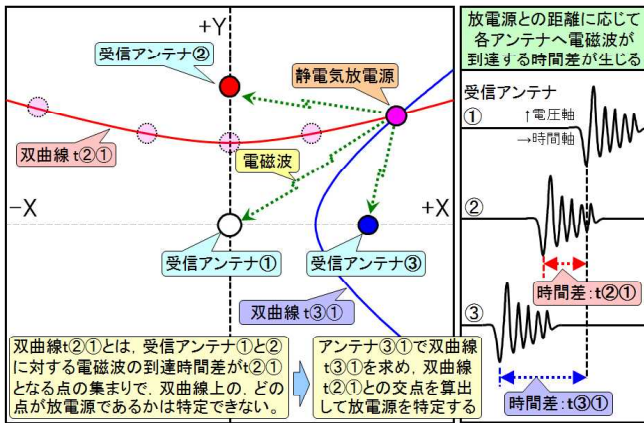


図2 放電箇所検出手法(双曲線法の基本)

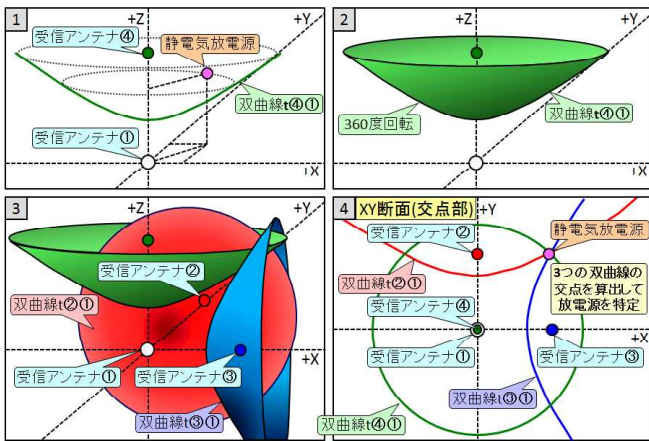


図3 放電箇所検出手法(3次元空間への応用)

2.3 マーキング位置の調整方法

ビデオカメラで撮影可能な範囲は、使用する撮像素子やレンズにより異なる。そこで、図4に示すように、カメラの光軸線上の平面において、カメラの撮影基準点を原点と

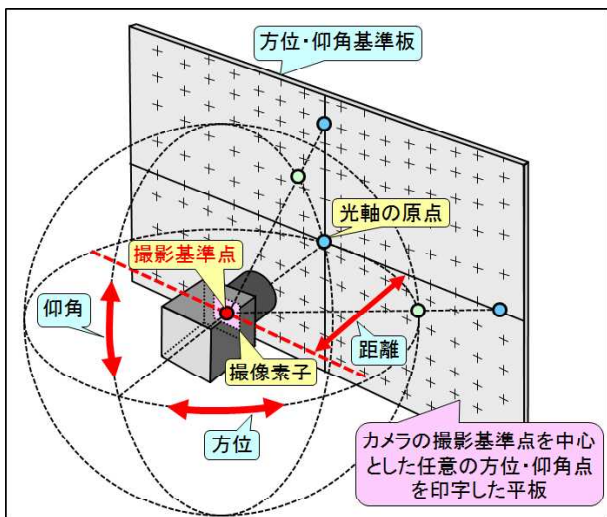


図4 方位・仰角基準板

した任意の方位・仰角点を印字した平板(方位・仰角基準板)を作成し、図5に示すように実際に使用するビデオカメラで方位・仰角基準板を撮影し、撮影可能範囲や角度情報の校正作業を行い、放電監視時は、その校正情報に応じてマーキング位置の調整を行う。

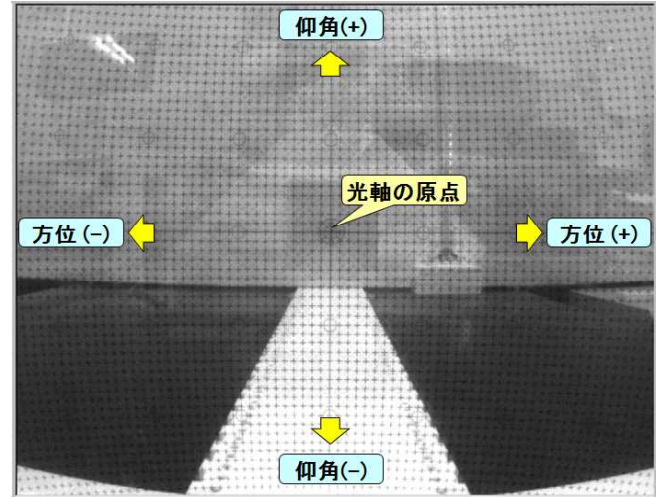


図5 ビデオカメラで撮影した方位・仰角基準板の例

2.4 検出結果の表示方法や得られる情報

静電気放電の検出結果は、図6に示すように表示され、4ch分の受信波形データ、数値情報(放電発生時刻, XYZ座標, 角度など)、放電位置の配置図(3方向)、放電が発生した瞬間の静止画像(放電位置を示すマーキング付き)、個々の放電現象毎の解析データ、放電発生前後の静止画(制御PCのHDDに発生時刻を示すフォルダを生成して保存)、放電発生前後の静止画から生成した動画像(放電位置を示すマーキング付き)などの情報が得られる。この動画像に施されるマーキングは、放電発生前後の全ての画像に施され、放電が発生した瞬間の画像だけ、緑色の二重丸(◎)で表示し、それ以外の画像では、赤い丸(O)で表示しており、放電が発生する位置やタイミングを、容易に確認することができる。

2.5 試作した検証装置と模擬試験環境

今回、試作した検証装置は、図7に示すように、サンプリング速度: 20GS/s, 周波数帯域: 3.5GHzの計測器(デジタルオシロスコープ)と、640×480画素, 30fpsのビデオカメラを使用し、アンテナ①②, ①③, ①④の間隔は、全て90cmとした。

使用したビデオカメラは、USB2.0インターフェースを用いて制御PCに接続し、640×480画素のカラー画像を30fpsで表示、保存が可能である。撮影範囲は、ズームレンズを用いることで、最大広角時の方位角が±30度(距離1mにおいて幅115cm)、最大望遠時の方位角は±10度(距離1mにおいて幅30cm)。静電気放電に伴う電磁波の捕捉は、4ch

入力, 20GS/sのデジタルオシロスコープで行い, 制御, 解析などを行うソフトウェアも開発した。

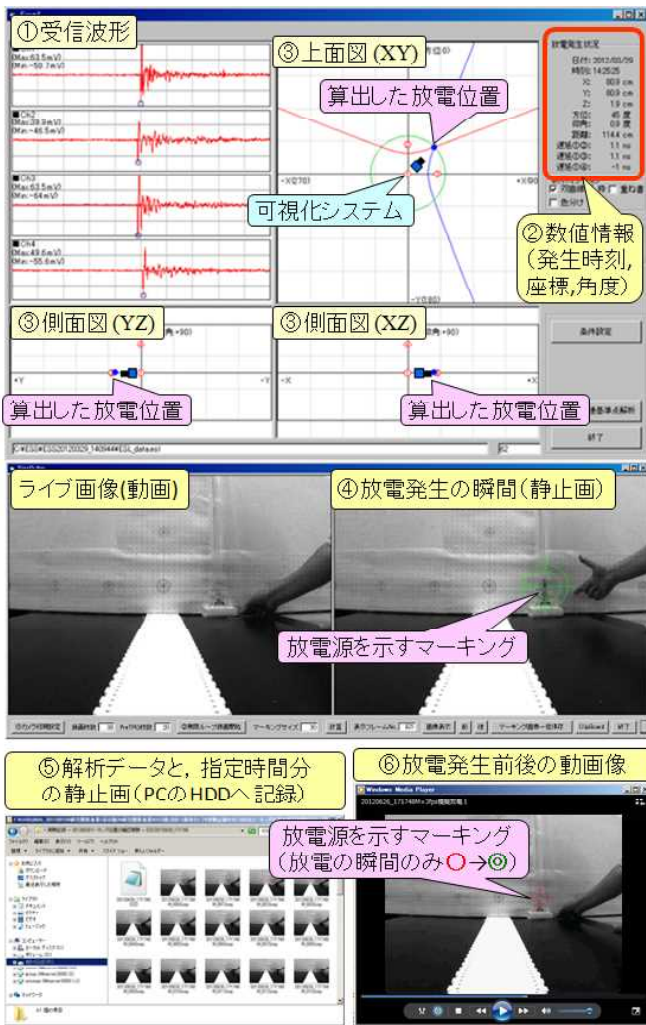


図6 検出結果の表示内容や得られる情報 (①~⑥)

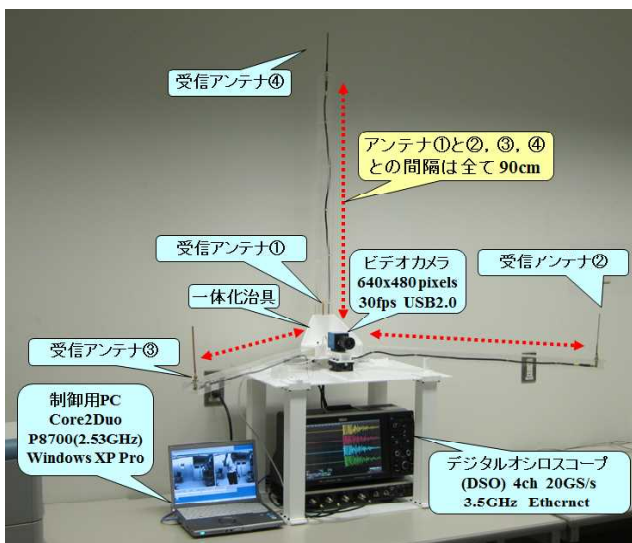


図7 試作した検証装置

3. 実験

3.1 模擬放電環境での算出精度の評価

放電源の算出精度を評価するため, 図8に示す模擬試験環境を構築した。検証装置の正面100cmの位置に, 幅186cm高さ93cm, 厚み3mmの亚克力板を垂直に設置し, 測定基準点に対する様々な方位, 仰角点を示す位置合わせ用のシートを貼り付けた。

模擬放電源としては, アクリルパイプ内で, 2つの金属体を衝突させて放電させる治具を試作し, 下側の金属体を, 放電させたい方位・仰角点に位置合わせして, 上側の金属体を糸で吊り上げ, 落下させて放電を発生させた。

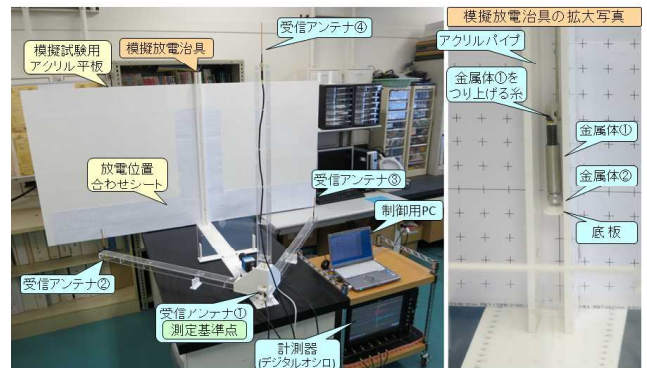


図8 試作した検証装置と模擬試験環境

3.2 CDM現象の検出実験

電子関連企業の製造工程では自動化が進み, 静電気放電トラブルの主な原因は, 帯電した電子部品が装置の金属体などへ衝突した際に生じる放電現象 (CDM現象: Charged Device Model デバイス帯電モデル) であると言われている¹²⁾。そこで, CDM現象の模擬実験環境として, 図9に示すように, PLCC (QFJ) タイプの端子を有する電子部品を, 38度に傾けた亚克力板上で滑落させて, 金属板に衝突させる実験環境を構築した。

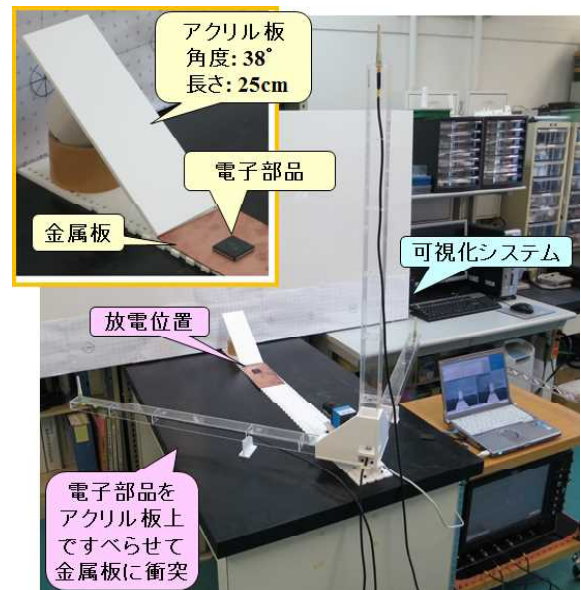


図9 CDM現象の検出実験

3. 3 放電検出優先モードの評価

通常の可視化手順は、放電を検出する度に一連の可視化処理を行うため、長時間、連続的に監視を継続できるが、処理時間が約0.5秒程掛かるため、短時間に多数の放電が生じるような事例には対応することが困難であった。

このような事例は、高速で動作する製造装置や搬送装置など、短時間に集中的に放電現象が生じる事例が多いため、監視する時間を限定し、放電検出を優先するモードの開発を行った。具体的には、デジタルオシロスコープが有するシーケンスモード機能を用いて、オシロスコープの内蔵メモリを理論的に分割し、メモリが一杯になるまで、放電の検出と記録のみを繰り返し行い、その後、全ての記録データを制御用PCに取り込み、まとめて可視化処理を行う手法を検討した。

実験では、図10に示すように、デジタルオシロスコープにパルスジェネレータを接続し、表1に示す実験条件で、パルスの発生間隔を除々に狭めて、オシロスコープが追従できる上限値を調べた。



図10 放電検出優先（シーケンス）モードの実験環境

表1 試験条件

	パルスジェネレータ (PG)	デジタルオシロスコープ (DSO)
初期設定	矩形波, DTY: 50% Max: 0.1V Min: 0.0V 周波数: 1kHz	各ch入力: 4ch, 50mV/div, 50Ω トリガ: C1, Edge, POS, +40mV サンプリング速度: 20GS/s 時間軸(使用メモリ): 10ns/div (2kS)
変更パラメータ	周波数 (Hz): 1k, 10k, 100k, 900k 1M, 5M, 10M, 20M, 25M	時間軸 (使用メモリ): 0.5ns/div (100S) 10ns/div (2kS) 500ns/div (100kS) 5μs/div (1MS) 50μs/div (10MS) 500μs/div (64MS ※) ※: 内蔵メモリ 64MS/ch時

4. 結果及び考察

4. 1 模擬放電環境での算出精度の評価

模擬放電治具を用いた放電実験の可視化例を図11に示す。この図から、糸でつり上げた金属体が落下し、下側の金属体と衝突した際に、衝突した部分で放電が発生したことを鮮明に可視化できていることを確認した。

また、表2に示したように、ほぼ全ての実験において、放電源の設置位置と双曲線法による算出結果との誤差は、ほぼ±1度以内に収まっており、電子部品の製造環境で使用する上で、実用上問題ないことを確認した。

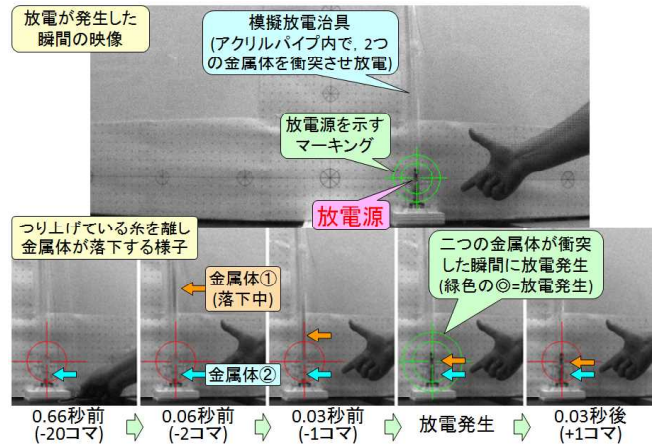


図11 検出結果の可視化画像

表2 模擬試験環境での放電源算出例

No.	①設定位置(度)		②算出位置(度)		誤差(①-②)(度)	
	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1	+30	0	+29.9	-0.3	+0.1	-0.3
2	+20	0	+19.5	+0.3	+0.5	+0.3
3	+10	0	+9.2	+1.3	+0.8	+1.3
4	0	0	0.0	+0.9	0.0	+0.9
5	-10	0	-9.7	+1.7	-0.3	+1.7
6	-20	0	-19.5	+0.3	-0.5	+0.3
7	-30	0	-30.8	+0.1	+0.8	+0.1
8	0	+10	-1.0	+10.3	+1.0	-0.3
9	0	+20	+0.3	+20.2	-0.3	-0.2
10	0	+30	0.0	+30.6	0.0	-0.6

4. 2 CDM現象の検出実験

CDM現象では、図12に示すような波形が検出され、図13に示すように、電子部品が金属体に衝突したタイミングに衝突した場所で放電が生じることを可視化しており、本装置でCDM現象を明確に可視化できることを確認した。

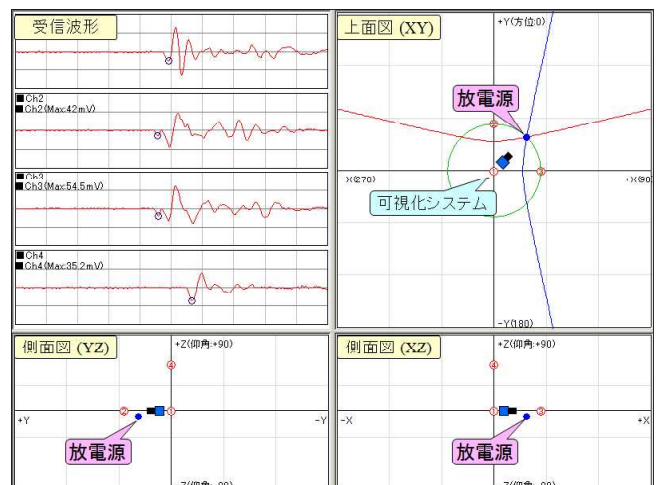


図12 放電位置の算出例

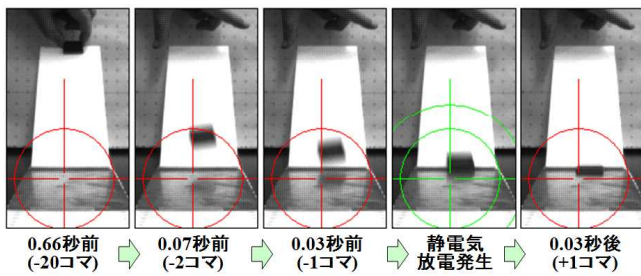


図13 CDM現象の可視化事例

4. 3 放電検出優先モードの評価

実験の結果、表3に示すように、パルスの発生間隔が約1μ秒（100万回/秒）程度までであれば、波形の検出・記録を繰り返し行えることが分かった。

また、この実験条件の場合、メモリが一杯になるまでに、7940回分の放電を記録できることが分かった。

表3 パルスの発生間隔と検出結果

パルス源		パルスの検出結果 (μs)			
周波数 (Hz)	発生間隔 (μs)	Seg 0000	Seg 0001	Seg 0002	Seg 0003
1k	1000.00	0.00	1000.08	2000.17	3000.25
10k	100.00	0.00	99.99	199.99	299.98
100k	10.00	0.00	10.00	20.00	30.00
900k	1.11	0.00	1.11	2.22	3.33
1M	1.00	0.00	1.00	2.00	3.00
5M	0.20	0.00	1.00	2.00	3.00
10M	0.10	0.00	0.98	1.96	2.94
20M	0.05	0.00	0.95	1.90	2.80
25M	0.04	0.00	0.96	1.88	2.84

5. 実環境での実施例

実際の電子部品製造工程において、図14に示すように、作業者が電子部品を加工装置にセットするための作業中に発生した静電気放電の検出例を示す。この事例では、図15に示すような放電波形が観測され、算出された放電位置は、作業者の右手付近であることが確認できた。さらに、放電



図14 実環境での評価事例

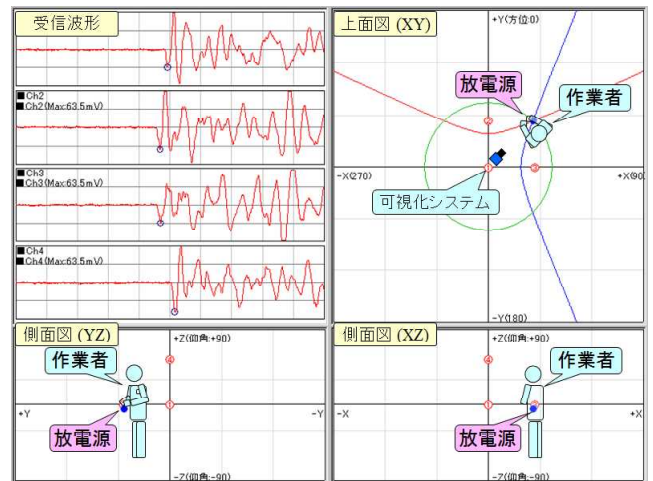


図15 放電波形と放電源の算出位置

発生前後の動画を再生した結果、図16に示すように、作業者が両手で束ねた電子部品を加工装置の上に置いた瞬間に、電子部品と加工装置が接触した部分で放電が発生していることを確認できた。

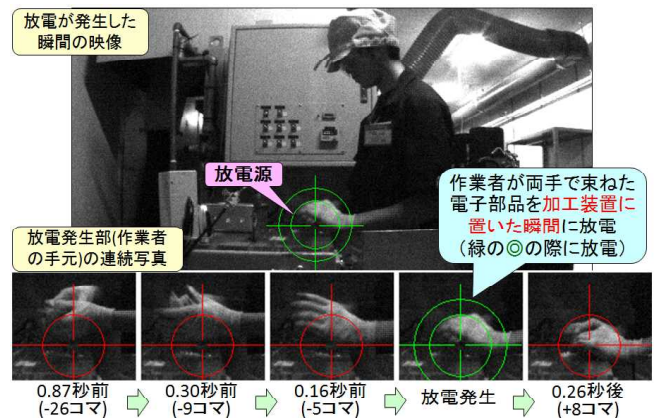


図16 放電発生に至るプロセス画像

6. 結 言

これまでの技術開発や性能評価により、検出可能電位や算出位置精度について、実用的に十分な機能と性能を有し、実環境で生じる様々な放電現象も検出できることを確認し本技術シーズの実用性が高いことが実証された。今後は、今回の研究成果を元に、本技術シーズの実用化を図るための研究開発や、本技術シーズを活用した共同研究などを行う予定である。

謝 辞

本成果の一部は、(独) 科学技術振興機構 (JST) の研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 平成23年度第2回 FSステージ探索タイプにより実施した。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) Don L. Lin, Louis F. DeChiaro and MinChung Jon：EOS/ESD Symposium **97**，88～98（1997）
- 4) Joe Bernier, Gregg Croft and Rex Lowther：EOS/ESD Symposium **97**，83-87（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）
- 6) 尾前宏，山之内清竜：特許 第4931252号（2012）
- 7) 尾前宏，山之内清竜：特許 第5374687号（2013）
- 8) 尾前宏，加藤正明：静電気学会誌, **36**, 1, 31-36（2012）
- 9) 尾前宏，加藤正明，仲覚太郎：第22回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集, 35-138（2012）
- 10) 尾前宏：第23回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集, 113-116（2013）
- 11) Hiroshi Onomae, Kenichi Kawabe, Shinichi Yamaguchi, Tadashi Takahashi：EOS/ESD Symposium 2014, 4B.1（2014）
- 12) 二澤政行：“静電気管理技術の基礎”，プラスチック・エージ（2004）p.9