

静電気放電発生箇所可視化システムの低コスト化に関する研究

上 藺 剛*, 尾前 宏**

Development of Cost Reduction Techniques for ESD Generating Part Visualization System

Tsuyoshi UEZONO and Hiroshi ONOMAE

電子関連企業等で深刻化している静電気放電トラブルに対応するために開発した静電気放電発生箇所可視化システムの普及を図る目的で、システムの低コスト化に関する研究開発を行った。使用する計測器のグレードダウンにより拡大する算出誤差領域を理論的に算出して表示する方式を考案し、低コスト化と放電源の特定し易さを両立することが可能となった。また、短時間に多発する静電気放電の可視化事例についても報告する。

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等では、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ことを知らせる技術や、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が^{2)~5)}、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等の問題があった。

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、被測定物のどの様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)~10)}。

これまでの研究で、検証用に開発した可視化システムの概要や様々な評価結果を報告した^{11)~13)}が、その後、本システムの普及を図るため、使用する計測器のグレードダウンに伴い拡大する放電位置の算出誤差領域を理論的に表示する技術(特許出願済み)の開発や、アンテナ・カメラ部の小型化、簡素化等の開発により、可視化システムの低コスト化に関する研究を行った。また、同システムにより複数の電子部品が短時間に多発する静電気放電現象の発生場所やタイミングを可視化した事例について報告する。

2. 静電気放電発生箇所可視化技術

2.1 可視化の方法とシステム構成

本技術に基づく可視化システムは、図1に示すように、4本の受信アンテナ①~④とビデオカメラと方位・仰角基

準板が一体化された治具(アンテナ・カメラ一体化治具)、計測器(DSO)、制御用PC等で構成される。

監視時は、同システムを監視対象に向けて設置し、DSOをトリガ待ち状態にして、静電気放電に伴う電磁波の発生を監視するとともに、ビデオカメラで撮影した被測定物の動画像を制御用PCで無限ループで記録し続ける。

DSOで静電気放電に伴う電磁波を検知すると、波形データを制御用PCへ読み込み、4本のアンテナへ電磁波が到達した時間差を解析し、双曲線法を用いて、放電源の座標(XYZ)や、角度(方位、仰角)を算出し、静電気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できる。また、波形データや放電源の算出結果、放電前後のビデオ画像を制御用PCのHDDにフォルダ単位で記録し、後で繰り返し確認することもできる。

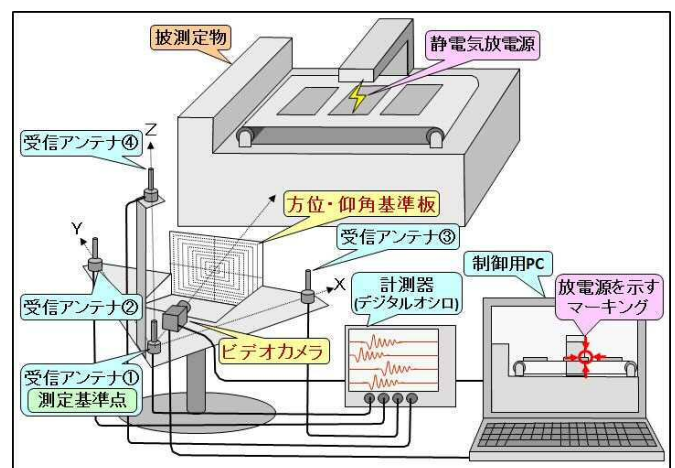


図1 静電気放電発生箇所可視化システム

*生産技術部

**現 (公財)かごしま産業支援センター

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ことで、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。

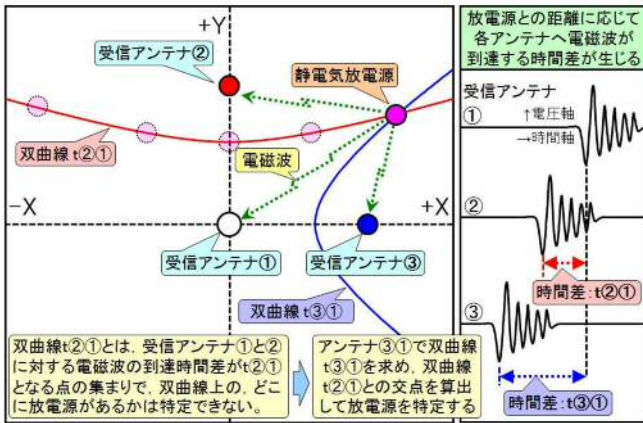


図2 双曲線法による放電源特定方法(2次元)

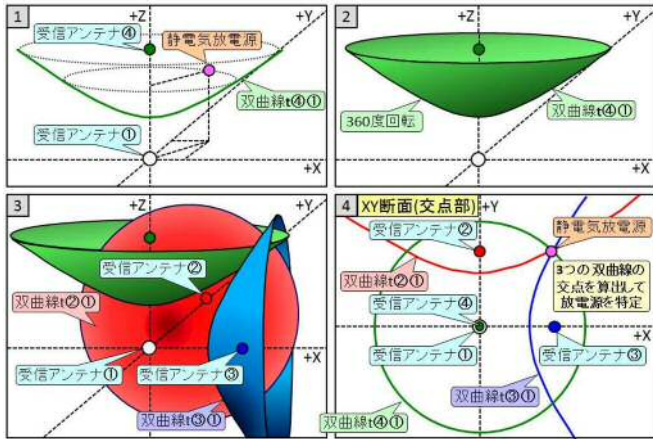


図3 双曲線法による放電源特定方法(3次元)

2. 3 本システムで得られる情報

本可視化システムでは、図4に示すように、放電を検出した瞬間に、放電に伴い発生した電磁波の受信波形、発生時刻や発生座標、方位、仰角などの数値情報、可視化システムに対する放電源の位置を示す3方向の図、放電が発生した瞬間の静止画(放電源の座標を示すマーキング付)が表示される。

この静止画によって、現場で監視を行っている作業者は、放電発生直後から放電源の特定を行うことができる。また、事後処理として、放電検出時にPCのHDDに記録した全ての静

止画に対して、放電位置へのマーキング処理を施し、時系列に表示することで、静電気放電が発生する際に、放電が発生した位置で、どのような動きがあったのかを繰り返し確認することができる。

なお、マーキングを施す際、放電発生の瞬間だけ二重丸「◎」で表示し、それ以外の画像では一重丸「○」でマーキングすることで、放電の瞬間を容易に確認することができる。

図4 本システムで得られる情報

3. 使用可能なDSOの下限性能の検討

静電気放電に伴う電磁波は図5上段に示すような高周波パルス現象であり、双曲線法に必要なアンテナ間の電磁波到達時間差の情報を得るには、最初のパルスの頂点(ピーク)を精度良く検出する必要がある。

最初のパルスのピークを検出可能なDSOの下限性能を検討した結果、図5下段に示すようにサンプリング速度が20GHz→10GHz→5GHzと遅くなるにつれ、最初のパルス部分を検出するサンプリングポイント数が減少し、最初のパルス部分を3~4ポイントでサンプリング可能な5GS/sのDSOまでグレードダウンできることが分かった。

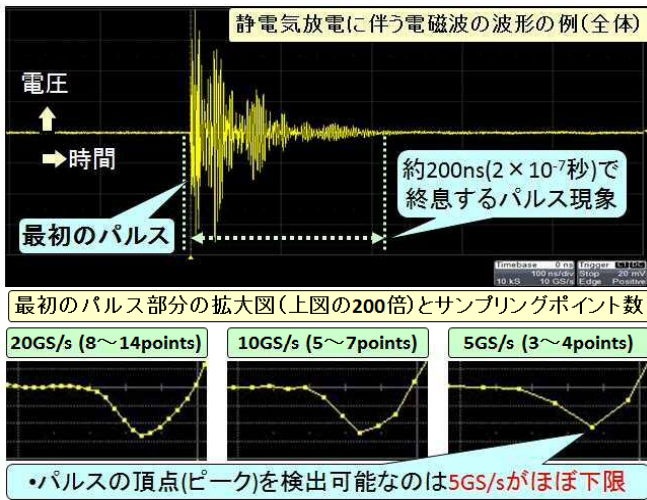


図5 静電気放電パルスピークの検出限界

4. サンプリング速度の制限に伴う算出誤差の影響を軽減する手法について

双曲線法で用いるアンテナ間の電磁波到達時間差情報は、各アンテナで受信された電磁波の最初のパルスピークを基準点としている。サンプリング速度の制限がない場合、真のパルスピーク間の正確な時間差を求めることができるが、実際には図6に示すように、使用するDSOの性能に応じたサンプリング上のパルスピーク間の時間差を求めることになるため、真の時間差との誤差が生じる。真のパルスピークとサンプリング上のピークとの誤差は、最大、サンプリング時間間隔の半値となるため、真の到達時間差は、サンプリング上の到達時間差±サンプリング時間間隔の間に必ず存在することになる。

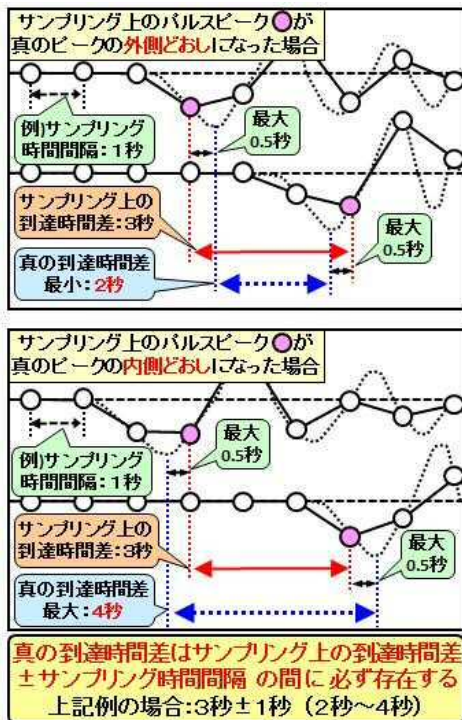


図6 電磁波到達時間差の誤差要因

双曲線法で放電源を求める場合、図7に示すように、サンプリング上の制約がなければ、パルスピーク間の正確な時間差=「真の双曲線」によって正確な放電位置が算出できるが、実際には、DSOのサンプリング性能に応じて「真の双曲線」に最も近い「サンプリング上の双曲線」が算出され「サンプリング上の放電源」が得られることになる。そこで、個々の「サンプリング上の双曲線」に対して「サンプリング時間間隔」をプラス、マイナスした双曲線で囲まれた領域「算出誤差領域」を求めると、その中に「真の放電源」が必ず存在することになる。

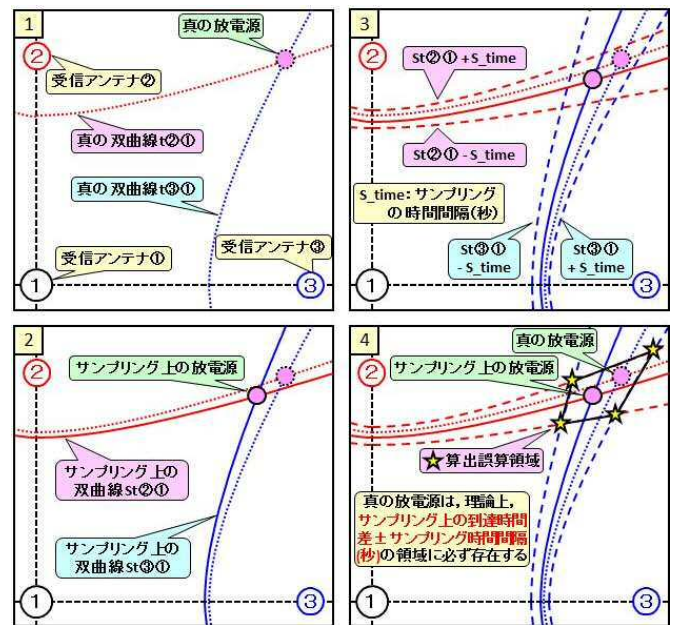


図7 双曲線法における算出誤差領域

具体的な例として、サンプリング上の放電源の到達時間差が $t_{2①}:2.0\text{ns}$ 、 $t_{3①}:2.0\text{ns}$ 、 $t_{4①}:-0.5\text{ns}$ 、サンプリング時間間隔:0.1ns(サンプリング速度:10GS/s)を条件(表1の識別コード:S)とした場合の、算出誤差領域の計算結果を表1のA~Hに、その配置を図8に示す。また、ビデオカメラの映像上の位置関係を図9に示す。

表1 算出誤差の計算例

識別コード	到達時間差値への+-組合せ			電磁波到達時間差(ns)			算出結果				
	t2①	t3①	t4①	t2①	t3①	t4①	X	Y	Z	方位	仰角
S				2.0	2.0	-0.5	211	211	4	45	0.8
A	+	+	+	2.1	2.1	-0.4	277	277	2.3	45	0.3
B	+	+	-	2.1	2.1	-0.6	280	280	-2.3	45	-3.3
C	+	-	+	2.1	1.9	-0.4	206	220	13	43	2.5
D	+	-	-	2.1	1.9	-0.6	205	219	-6	43	-1.1
E	-	+	+	1.9	2.1	-0.4	220	206	13	47	2.5
F	-	+	-	1.9	2.1	-0.6	219	205	-6	47	-1.1
G	-	-	+	1.9	1.9	-0.4	176	176	19	45	4.4
H	-	-	-	1.9	1.9	-0.6	174	174	4	45	0.9

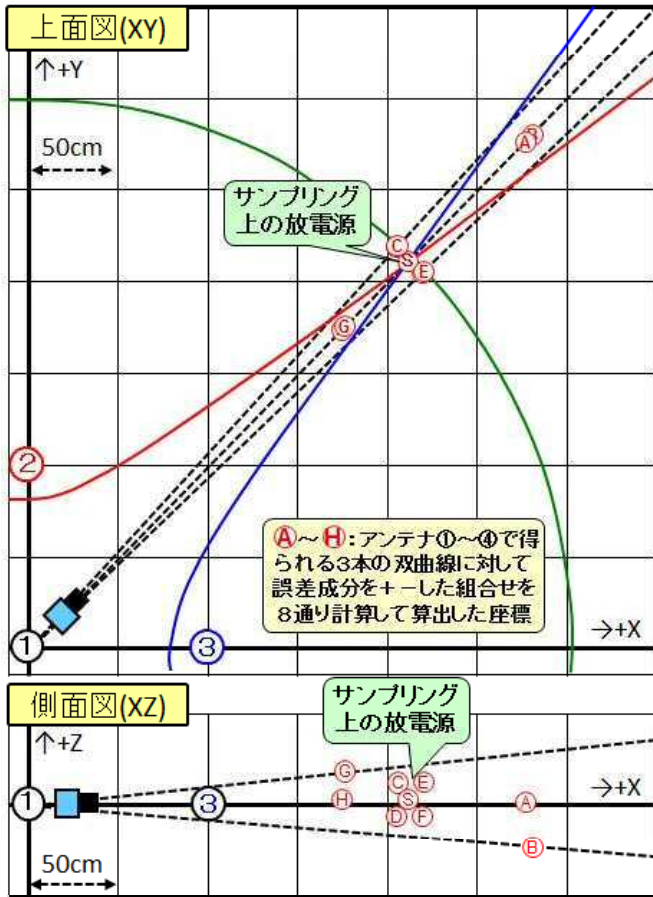


図8 表1の算出結果の配置図

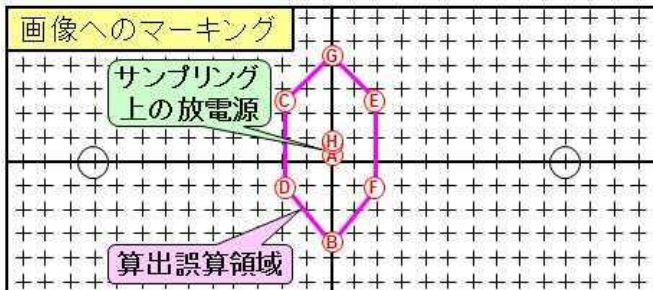


図9 カメラ画像へのマーキング結果

図10に、実環境で検出された静電気放電の可視化例を、従来方式（ターゲットスコープ表示方式）と、新方式（誤差領域表示方式）で表示した例を示す。

従来方式の場合、ターゲットスコープの中心から、どれくらいの範囲に、真の放電位置が存在するか類推する術がないが、新方式であれば、マーキング内に必ず真の放電源が存在することの確認が持てるため、放電源を特定し易くなった。

5. アンテナ・カメラ部の小型化、簡素化について

静電気放電の発生源を高い精度で特定するために用いる4本の受信アンテナとビデオカメラの一体化治具について設置可能な場所の拡大と低コスト化を図るため、図11に示すように、設置時の位置決め精度や作業性を維持しつつ、

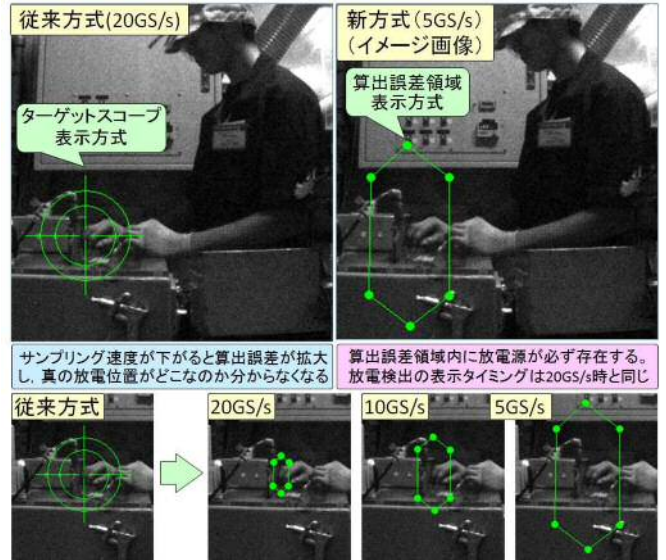


図10 新旧マーキング表示方式の比較

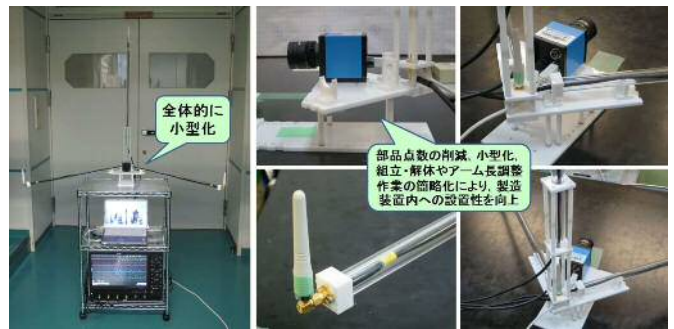


図11 小型化、簡素化したアンテナ・カメラ一体化治具

使用部材や構造、部品点数の削減等を行い、サイズ、コストとも大幅に低減できた。

6. 短時間多発静電気放電現象の可視化事例

本可視化システムは、DSOの「シーケンスモード」機能を用いて短時間に多数の放電現象を補足する機能も有している。試作機で用いた計測器（LeCroy WavePro 735Zi）の場合、約1 μs間隔（約100万回/秒）で放電現象を記録可能であり、メモリ量が64MS/chで、1現象あたり2kSの場合、最大7940回分の放電を検出、記録可能¹²⁾である。

今回の実験では、実環境で最も問題となっているCDM現象（帯電した半導体デバイス等が金属と接触して放電する現象）の模擬実験として、図12に示すように、複数の電子部品（今回は5個）を、斜めに設置したアクリル板上でほぼ同時に滑落させて金属板に衝突させることで、非常に短い時間内に多数の放電を意図的に生じさせる実験を行った。

個々の電子部品が金属板に衝突するタイミング等により放電の発生状況は毎回変わるが、図13の場合、9件の放電現象が記録され、個々の波形を解析した結果、表2のような座標、角度で放電していることが判明した。それらの結果

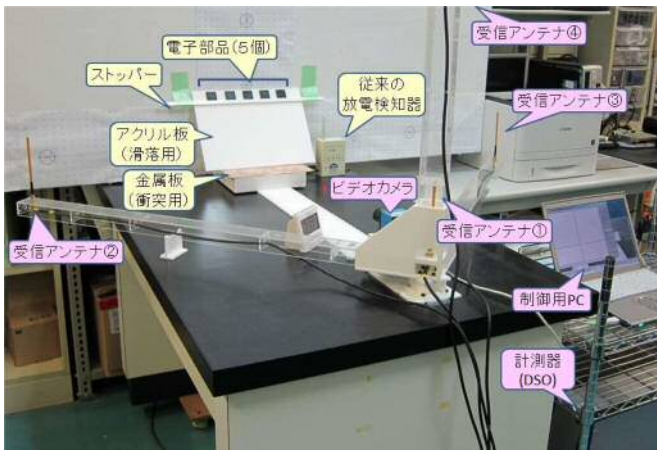


図12 CDMによる放電現象の実験環境



図13 CDMによる放電現象の検出結果

表2 各放電現象の解析結果

Seg No.	発生時刻 (秒)	画像 No	電磁波到達時間差(ns)			算出結果			
			t②①	t③①	t④①	X	Y	Z	方位 仰角
01	0.000000	299	1.025	0.375	-1.45	55.6	70.6	-9.2	38.2 -5.8
02	0.002166	299	0.85	0.55	-1.45	60.1	67	-9.2	41.9 -5.9
03	0.002269	299	0.9	0.6	-1.35	61.7	68.7	-5.8	41.9 -3.6
04	0.006830	299	1.1	0.4	-1.25	56.5	72.7	-1.2	37.8 -0.7
05	0.009631	299	0.6	0.65	-1.375	61.6	60.5	-4.1	45.5 -2.7
06	0.017947	299	0.525	0.775	-1.45	64.7	59	-8	47.6 -5.2
07	0.022022	299	0.375	0.875	-1.45	66.4	55.1	-7.4	50.3 -4.9
08	0.039851	300	1.05	0.45	-1.35	57.8	71.8	-5.7	38.8 -3.5

を30fpsで記録した静止画像群の中の、該当画像にマーキングした結果、図14に示すように、5つの電子部品が金属板に衝突した瞬間や、部品どおしが衝突した瞬間に生じた放電現象の発生場所やタイミングを可視化できることを確認した。

なお、従来の放電検知器の場合、金属板に電子部品が衝突した瞬間（図14の画像No. 299）から約3秒間、LEDが点灯しており、検知器周辺で放電が発生したことは分かるが、狭い空間で短時間に複数の放電が生じるような状況に対応することは困難であることが分かった。

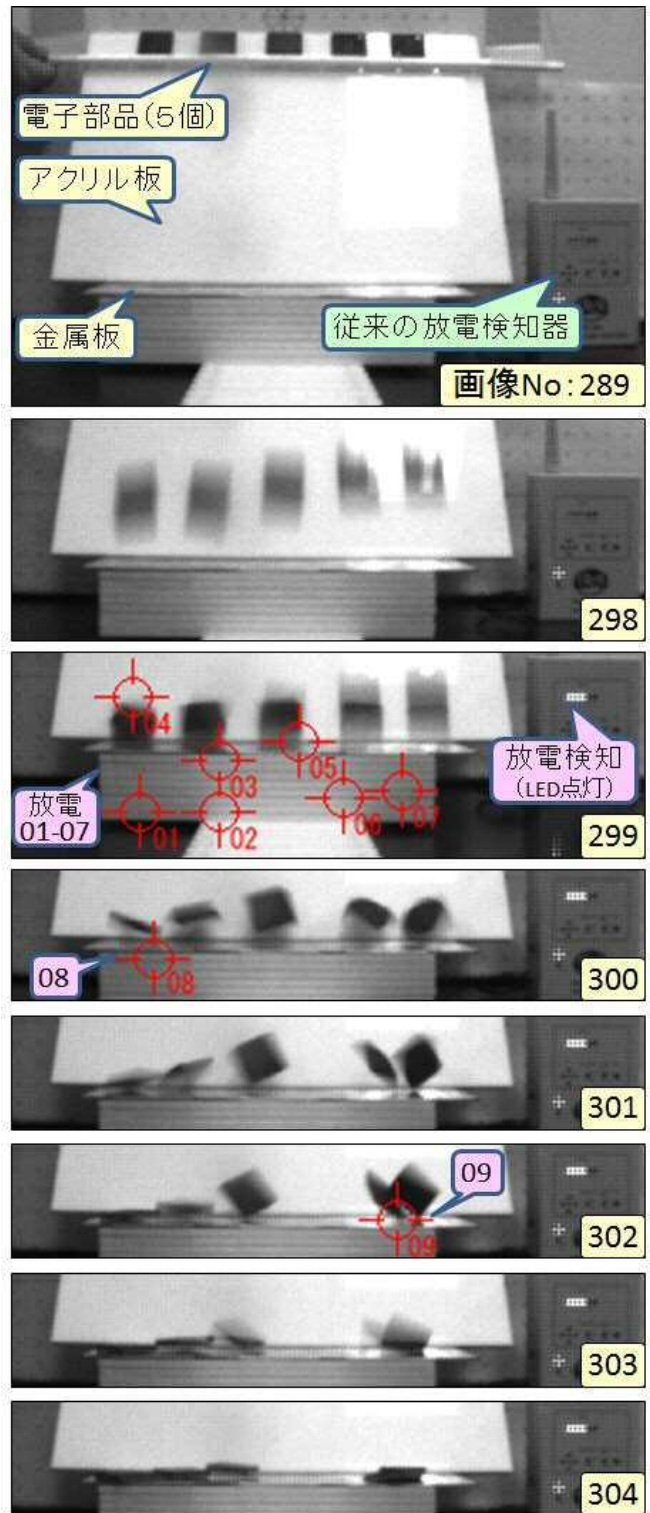


図14 CDMによる放電現象の可視化画像

7. 結 言

今回の研究開発により、放電源の特定し易さを維持しつつ、可視化システムの大幅な低コスト化、コンパクト化が実現できた。今後は、本技術に関する実環境での可視化事例の蓄積を進めるとともに、本システムの技術移転を希望する企業や研究機関との共同研究や技術指導などを進める予定である。

謝 辞

本成果の一部は、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) 尾前宏ら：鹿児島県工業技術センター研究報告 **25**, 59-64（2011）
- 10) 尾前宏：鹿児島県工業技術センター研究報告 **27**, 25-30（2013）
- 11) 尾前宏ら：第22回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集，35-138（2012）
- 12) 尾前宏：第23回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集，113-116（2013）
- 13) 尾前宏：第24回RCJ信頼性シンポジウム発表論文集，7-10（2014）