

静電気放電発生箇所検出システムの開発

尾前 宏^{*, 1}, 加藤 正明^{**}

(2011年9月12日受付; 2011年12月12日受理)

Development of a Practical ESD Detector System

Hiroshi ONOMAE^{*, 1} and Masaaki KATO^{**}

(Received September 12, 2011; Accepted December 12, 2011)

We developed a system for detecting the generating position and correct time of electro static discharges (ESD). Four antennas are installed near the device under tests, and the electromagnetic waves accompanying ESD are recorded with a digital oscilloscope, and the position of the source of ESD is computed by a hyperbola method. By using the visible laser range finder on the positioning tool, installation of a detection system and the specific work locating of the source of ESD can be done with high precision in a short time. In the case of the used oscilloscope (20 GS/s), the theoretical calculation error was about 5 cm, and the experimental error was about 11 cm. In the experiment conducted with the ESD testing machine (IEC61340-3-1 HBM), ESD of 40V in (x:3 m, Y:3 m, Z:-0.5 m) has been detected. In the range of (X:15 m, Y:6.5 m, Z:-0 m) has been detected. The source and the cause of the ESD which had occurred in the actual manufacturing site have also been specified.

1. はじめに

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²⁵⁾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。本論文では,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。

キーワード:静電気,放電,検出,特定,双曲線

NIPPON KEIKI KAGOSHIMA Co., Ltd., 5159–1 Koori, Chirancho, Minamikyushu 897–0302, Japan

¹ onomae@kagoshima-it.go.jp

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。

なお,静電気放電には,火花放電,ブラシ放電,沿面放 電など様々な放電があるが,本システムでは,主に,火花 放電を対象としている。

^{*} 鹿児島県工業技術センター(899-5241 霧島市隼人町小田 1445-1) Kagoshima Prefectural Institute of Industrial Technology, 1445-1

Oda, Haytocho, Kirishima 251-8522, Japan

^{**} 日本計器鹿児島製作所(897-0302 南九州市知覧町郡 5159-1)



図1 検出システムの概念

Fig. 1 Conceptual diagram of ESD detector system.

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、t②①の到達時間差が生じる。

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、二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。

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。



図2 双曲線法(基本)

Fig. 2 Hyperbolic method.



図3 双曲線法(実環境(3次元空間)への応用)

Fig. 3 Hyperbolic method for 3-D space.

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。このシステムは,アンテナ②,③を個別に設置 するタイプで,アンテナどうしの間隔が広く,比較的広い 測定領域を対象としている。



図 4 検出システム 1(アンテナ②③分離タイプ) Fig. 4 ESD detector system 1(Antenna2, 3 separate type).

このシステムを実用的に用いるためには、4本のアンテ ナを正確に位置合わせする作業と、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。製 造現場等の実環境には、様々な製造装置などが存在し、検 出システムを設置する場所は様々な制約を受ける。また、 算出された放電源の位置を特定する際に、被測定領域の製 造装置類と検出システムとの位置関係について正確に採す する作業が必要不可欠だと、かなりの時間を有することに なる。これらの問題を解決する方法として、図5に示すよ うな可視レーザー距離計を用いた位置合わせ治具を開発し た。

この治具は方位角,仰角の2軸の高精度回転ステージに 可視レーザー距離計を取り付けた物で,回転軸の中心と距 離計の測長基準点の位置を一致させており,その点を測定 基準点とする。

本検出システムのアンテナを設置する場合,被測定物付 近の任意の場所に,三脚に取り付けた位置合わせ治具を設 置し,測定基準点を原点とした水平面上でX軸,Y軸の方 位を任意に決める。その後,Y軸線上にレーザー光を照射 し,光線上の任意の位置にアンテナ②を設置し,測定基準 点との距離を測長する。同様にX軸線上にアンテナ③を設 置した後,位置合わせ治具を三脚から取り外し,代わりに 受信アンテナ①④固定治具を取り付けることで,検出シス テムで用いる4本の受信アンテナを短時間に精度良く設置 することができる。

また,算出された放電源の位置を特定する際は,アンテ ナ①④固定治具を三脚から取り外し,代わりに位置合わせ 治具を三脚に取り付け,下記の手順で行う。

測定基準点から放電源までの間に,障害物が存在しない



図 5 位置合わせ治具 Fig. 5 Tool for alignment.

場合,算出された方位角,仰角にレーザー光の照射角度を 調整し,放電源までの直線距離を測長して,レーザー光を 放電源の位置へ到達させる。

もし、途中に障害物が存在する場合、算出された XYZ 座標値を基に、レーザー距離計の測長機能と、光の向きを 高精度に 90 度反射させる治具を複数用いることで、障害物 を避ける経路で、放電源の位置までレーザー光を到達させ ることもできる。

これらの方式であれば、検出システムに対する被測定物 の位置情報が不要なため、放電源の特定作業が数分で完了 できる。なお、被測定領域に存在する装置等の寸法情報を 検出システムに登録することも可能で、解析ソフト上で、 放電源の位置と被測定物の位置関係を確認することができ る。

図4の検出システムでは、測定場所を変える度に、アン テナ②③の設置作業が必要であったため、図6に示すよう に、全アンテナを一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も開発した。

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、広い工程内を、通路に沿っ て6m×6m程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7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 検出システム 2(全アンテナー体型) Fig. 6 ESD detector system 2 (Uniting type).

Raceiving Wave Data Top view(XY) 電発生状況 日付: 2010/04/14 時刻: 1557:26 Receiving Antenna 157:26 296.8 cm 299.1 cm 8.4 cm 44.8 度 1.1 度 421.5 cm 4.15 ns 4.075 ns ESD Source 表示オブシ ESD source Position data Receiving Antenna Receiving Antenna heiden Reference Point b2 914 Receiving - | → | 48/± | → 5 Side view(XZ) Side view(YZ) Antenna 【側面(YZ)図 1m/diy】 (側面0×Z)図 1 m/div) Z(仰角:+90 全ch到達基準点検出 放電位置計算 ESD Source ESD So 耕了(保)

図7 検出結果の表示画面

Fig. 7 Display of detection result.

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,アン テナ間の電磁波到達時間差の誤差によって主に生じる。

到達時間差の誤差要因としては、各アンテナの設置位置 の誤差(誤差要因 1)、検出システムで用いる計測器(デジタ ルオシロスコープ)のサンプリング速度による誤差(誤差要 因 2)、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 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3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2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の条件における算 出誤差について理論的誤差と実験とを行った。

3.2 検出可能な最小放電電圧の評価実験

電子関連企業などにおける静電気管理技術として広く普及している IEC61340-5-1 規格⁽⁶⁾では,静電気管理電圧 100 V を一つの目安としている。そこで,半導体デバイス向けに 制定された静電気放電試験規格(IEC61340-3-1)に準拠し,放 電電圧を 10 V~4 kV まで設定可能な試験機を模擬放電源 として,表2の試験条件で,本検出システムで検出可能な 距離範囲を評価した。

3.3 広い範囲における放電源のトレース実験

静電気放電の検出システムには,なるべく広い範囲のな るべく微弱な静電気放電を精度良く検出することが望まれ る。そこで,表3の試験条件により,放電源の位置を移動 させ,その位置をトレースする実験を行った。

本実験では, IEC61000-4-2 規格準拠の静電気放電試験器 の放電ガンに接触放電用の金属棒を取り付け,接地した気 中放電用の金属棒を約 5mm の間隔で対向させ、二つの金 属棒の先端間で放電させた。

表1 放電源算出精度の算出条件

Table 1 Test condition of Accurate of ESD source.

Distance of antennas	21:3 m, 31:3 m, 41:1 m
ESD source position	X:3m, Y:3m,Z:0m
Sampling rate of DSO	20 GS/s (0.05 ns)
ESD source	Metallic collision tool

表2 最小放電電圧評価時の試験条件

Table 2 Test condition of minimum ESD voltage test.

Distance of antennas	21:90 cm, 31:90 cm, 41:90 cm				
ESD source position	Х	X 1 m		3 m	
	Y	1 m	2 m	3 m	
	Ζ	-0.5m	-0.5m	-0.5m	
Sampling rate of DSO	20 GS/s (0.05 ns)				
ESD source	ESD test machine				
Discharge mode	HBM (IEC 61340-3-1)				
Voltage	10~100 V (10 V step)				

表3 移動する放電源のトレース実験時の試験条件

Table 3 Test condition of Tracing experiments.

Distance of antennas	21:3 m, 31:3 m, 41:1 m			
ESD source position	X: 0.5~15 m, Y: 1~6.5 m, Z:0m			
Sampling rate of DSO	20 GS/s (0.05 ns)			
ESD source	ESD test machine			
Discharge mode	HBM (IEC61000-4-2)			
Voltage	200 V			

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理論値の計算結果と実験での算 出結果を表4に示す。表1の条件における正確な到達時間 差は(A)列の値であるが,実際には使用する計測器のサンプ リング速度(20GS/s)のため,(B)列のように0.05 ns単位に 丸められ,算出位置に,約2 cmの誤差が生じた。次に,(B) 列の条件に対して到達時間差の誤差が最大になる(C)列(D) 列の条件での総合誤差は約5 cmである。これらに対し,実 験での誤差は(E)列のように約11 cmであった。この誤差に は、アンテナや模擬放電源の設置位置の誤差が含まれてい るので,その改善方法についても、今後,検討したい。

4.2 検出可能な最小放電電位の評価結果

実験時の機器の配置例を図8に示す。 電磁波到達基準点の電圧レベルが±10mVを超えている

表4 放電位置算出誤差の理論値と実験値

Table 4 Theoretical value and experimental data of accurate of ESD source position.

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
		Differential arrival	Differential arrival	Differential arrival	Differential arrival	Experimental
		time (real)	time (0.05 ns step)	time (B+0.025 ns)	time (B-0.025 ns)	data
Differential	t 21	4.1421	4.15	4.175	4.125	4.15
arrival time	t 31	4.1421	4.15	4.175	4.125	4.075
(ns)	t (4)(1)	-0.3875	-0.4	-0.425	-0.375	-0.325
ESD source	Х	300	300.57	302.44	298.77	296.83
position	Y	300	300.57	302.44	298.77	299.07
(cm)	Z	0	-1.73	-5.35	1.83	8.43
Distance of total error(cm)			1.91	4.48	4.38	10.93

ことを判定基準とした結果,測定基準点から放電源までの 距離が X:1m, Y:1m, Z:-0.5mの場合,最小20Vの放 電まで検出し,X:3m, Y:3m,Z:-0.5mの場合,図9に示 すように,最小40Vの放電まで検出できた。



図8 検出可能な最小放電電圧評価時の配置例

Fig. 8 Deployment of minimum ESD test experimentation.



図 9 放電源算出結果(X:3, Y:3, Z:-0.5 m 40 V) Fig. 9 Calculation result(X:3, Y:3, Z:-0.5 m 40 V).

4.3 広い範囲での放電源のトレース結果

実験時の検出システムや模擬放電源の様子を図10に、トレース結果を図11に示す。最小放電電圧が200Vまで設定可能な電子機器用の静電気放電試験機を模擬放電源とし、16m×7.5mの部屋の壁付近(15m×6.5m)を直線的に移



図10 トレース実験時の配置例

Fig. 10 Deployment of trace experimentation.



図11 模擬放電源のトレース結果

Fig. 11 Result of trace experimentation.

動させながら断続的に放電 (200 V)した結果,実施した全 ての範囲で放電源が移動する様子をトレースできることを 確認した。

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,電子部品の外観検 査工程での放電検出事例を示す。

この事例では、図 12 に示すように、作業者が、3 列に並 んだ作業台で、光学顕微鏡による目視検査を行っており、 その周辺の床面に検出システムを設置して静電気放電の監 視を行った。その結果、図 13 に示すように、作業者Dの手 元付近で静電気放電が発生していることが判明した。

この現象は、各作業者の手元でも、不定期に検出され、作 業者の動きと放電検出のタイミングを比較して原因究明した 結果、図 14 に示すように、アクリル製の板に載せた電子部品 を、検査終了後に金属製のトレーに移す際、アクリル板上を



図12 実環境の配置

Fig. 12 Deployment of actual environment.



図 13 実環境での放電検出例(作業者 D の手元付近)

Fig. 13 Examples of discharge detection(Worker D).

を滑らせることで電子部品が帯電し、金属製トレーに接触し た瞬間に放電していることが判明した。この放電による電子 部品への影響は皆無であったが、万全を期すため、静電気対 策トレーに変更するなどの対応を図った。



図 14 静電気放電が発生していた作業環境 Fig. 14 Work environment which ESD generated.

6. まとめ

今回の技術開発により、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する静電気放電発 生箇所検出システムを開発し、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 すると伴に、電子関連企業への技術指導などに活用したい。

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る。

参考文献

- 藤江明雄:2005 年度静電気障害防止技術シンポジウム, p.33 (2005)
- (2003) 193
 (2003) 193
- D.L. Lin, L.F. DeChiaro and M.C. Jon: EOS/ESD Symposium 97, p.88 (1997)
- Joe Berniier, Gregg Croft and Rex Lowther : EOS / ESD Symposium 97, p.83 (1997)
- 5) 渡辺壮一, 伊藤建一, 佐藤拓朗, 星子芳三郎: 信学 論 B, **J84-B No.6** (2001) 1033-1042
- 二澤正行:静電気管理技術の基礎、プラスチックス・ エージ (2004)