

静電気帯電分布可視化システムの開発

尾前 宏*

Development of Visible making electrostatics distribution system

Hiroshi ONOMAE

表面電位計で被測定物の表面をスキャンすることで、被測定物の静電気の帯電分布を可視化するシステムを開発した。このシステムは超精密XYZステージやデジタルマイクロスコープを組み合わせることで正確に位置合わせし、最小分解能約1mmで、高精度な測定を行うことができる。また、従来の帯電分布可視化法（帯電微粉末散布法）での可視化結果とほぼ同様の結果を得られることを確認した。さらに、県内企業の製造現場に装置を持ち込み、製造物の帯電状況を可視化し、ゴミ付着防止のための工程改善に活用した。

Keyword : 静電気, 帯電分布, 可視化, システム

1. 緒言

電子機器や部品の小型化、フラットパネルディスプレイ（FPD）の大型化などに伴い、電子機器関連企業では静電気による異物付着や静電破壊などの不具合が深刻化しており、既に様々な静電気対策が行われている¹⁾。

その中で、静電気を除去する装置として、コロナ放電などで発生させたイオンを被対象物に吹きつけ、静電気を中和し除電する装置（イオナイザ）などが製造現場に広く導入されるようになってきているが、静電気は目に見えず、様々な要因で発生するため、どこで静電気が発生しているかを正確に把握することは大変難しい。そこで、製造現場に存在している様々な物体の帯電状況を高分解能で再現性よく可視化する装置を開発した。この装置を用いることで、製造現場で用いられる様々な素材の帯電しやすさの評価や静電気対策設備の使用法の改善に利用できる。

今回、開発したシステムの概要や実用性に関する評価結果について報告する。

2. 開発したシステムの概要

今回、開発した可視化システムを図1に示す。平成16年度に開発したEMC対策用超微細解析システムのハードウェアを活用し、精密XYZステージ、拡大観察カメラ、表面電位計、制御用コンピュータ等で構成されている。

測定の際は、帯電分布を可視化したい被測定物を精密ステージのY軸上に設けた被測定物固定板に固定し、その上空を表面電位計でスキャンして各座標における帯電電圧を測定する。全ての座標での測定が完了した後、各座標における帯電電圧を、電圧レベルに応じた8段階の色でコンピ

ュータ画面上に表示する。この際、被測定物の映像と重ね表示することで、静電気の発生位置を容易に確認できる²⁾。

表面電位計の測定値は、表面電位計のアナログ出力値をAD変換して制御用コンピュータに取り込む。



図1 開発した静電気帯電分布可視化システム



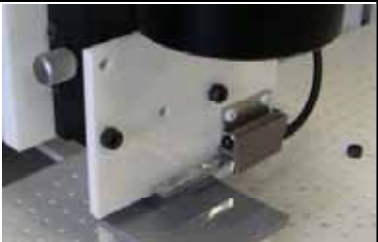
2.1 検討した表面電位計

電子関連業界向けの表面電位計が数社から市販されている。一般的には、製造工程において、製造物が搬送されるベルトコンベアを流れてくる製造物の帯電量を測定し、イオナイザの効果が充分か、または異常な帯電をしていないかなどを確認するために使われる場合が多い。

市販されている表面電位計の大半は、ある程度、被測定物と距離を長くし、広い面積の平均値を得るためのものと、被測定物に極力接近させ、狭い領域の帯電量を測定するためのものがある。前者は主に広いシート状の製品用で、後者は小さな電子部品向けである。

前者の場合、帯電電圧の絶対値を測るとき、距離依存性

*電子部

メーカー・型式	トレックジャパン(株) Model 370	(株)キーエンス SK	オムロン(株) ZJ-SD
写真			
測定範囲(精細/ワイド)	0 ~ ±3kV	0 ~ ±5kV(±30kV)	0 ~ ±5kV(±50kV)
アナログ出力(精細/ワイド)	1 / 100	1 / 1000(1 / 10000)	1 / 1000(1 / 10000)
最小測定距離(測定領域)	1mm(3mm)	8mm(40mm)	5mm(25mm)
応答速度	50 μs	100ms	20ms



メーカー・型式	SUNX(株) EF-S1	(株)ノイズ研究所 EV-102
写真		
測定範囲(精細/ワイド)	0 ~ ±1kV(±2kV)	0 ~ ±20kV
アナログ出力(精細/ワイド)	1 / 500(1 / 1000)	1 / 10000
最小測定距離(測定領域)	8mm(23mm)	50mm(250mm)
応答速度	20ms	不明

図2 評価を行った表面電位計

があり、カタログにも測定距離が明記されている。レーザーマーカーのピント表示で、被測定物との距離を一定に合わせるタイプと測定距離を実測し、その数値を測定器に入力し、補正を掛けるタイプがある。

測定距離が長くなるにつれ、センシングする面積は増大し、測定値はセンシングした領域全体の平均値となる。測定距離と測定領域との正確な関係は、各社の表面電位計で異なると思われるが、オムロン(株)のZJ-SDの場合、カタログに「静電気センサの検出エリアは、設置距離の約5倍」と記載されている³⁾。SUNX(株)のEF-S1HSの場合もほぼ同様である⁴⁾。

また、表面電位計のアナログ出力値の設定も各社各様であり、測定電圧値の100分の1の電圧として出力する製品(トレックジャパン(株)Model370: ±3kV ±30V)から1万分の1((株)ノイズ研究所 EV-102: ±20kV ±2V)の製品まである。この場合、100分の1出力の方がより正確にAD変換し、コンピュータに取り込むことができるので望ましい。

表面電位計で測定できる最大電圧値については、±100V ~ ±50kVであった。

今回の開発では、国内各社の表面電位計の評価を行いながら、評価した全ての機種が利用できるように、AD変換値の設定や測定電圧範囲などの情報を制御ソフトへ登録するとともに、XYZステージへの取り付け治具も試作した。実際に、企業などへ技術移転する際には、ユーザーズによっ

て、各社表面電位計の中から選択することが可能である。

今回、評価を行った表面電位計について図2に示す。

2.2 表面電位計の正確な位置合わせ方法の検討

今回開発したシステムは、被測定物の映像と測定結果を重ね表示することで、被測定物における静電気の帯電状況を正確に把握することを特徴としている。そこで、被測定物に対する表面電位計の相対位置を正確に位置合わせする方法として以下の方法を考案した。

XYZステージのY軸上に被試験体を固定するための板(被試験体固定版)を取り付ける。このテーブルには図3に示すように1cm間隔でマトリクス状に3mmのねじ穴が刻まれている。その原点に樹脂製スペーサを取り付け、その先端部に金属製ネジをマーカーとして取り付ける。

最初に、目測で表面電位計のセンサー部分をマーカー上空に位置合わせする。この際のステージ座標を「仮補正值」とする。次に、マーカーを摩擦帯電させて、マーカー周辺の領域を微小ピッチで計測する。その結果、図4のように想定したマーカー位置と実測結果で生じた「ずれ」を「仮補正值」に加えることで、被試験体固定テーブルと表面電位計との相対位置の補正が完了する。そして、マーカーを固定したネジ穴とは別な穴に、被試験体を四方から固定するための樹脂製板(位置決め板)を固定する。位置決め板の寸法は正確に作成され、その板に被測定物を位置決めすることで、表面電位計と被測定物との相対位置合わせをすることが可能となった。

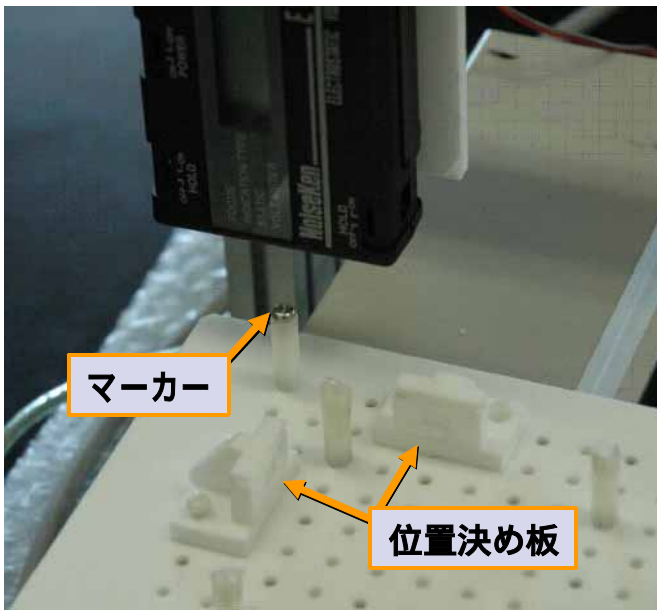


図3 位置決めを行うためのマーカー及び位置決め板

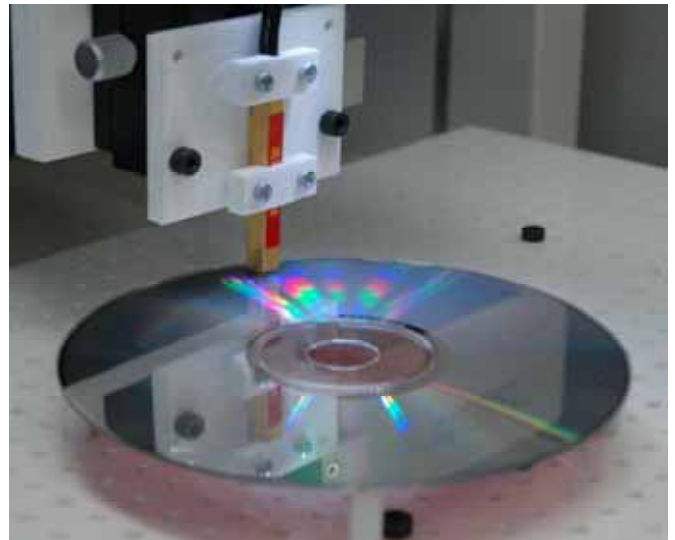


図5 Model370によるDVDメディアの測定

3.2 被測定物と表面電位計との距離と分解能の関係
 被測定物と表面電位計との測定距離が近づくほど分解能が高くなるが、(株)ノイズ研究所のEV-102はカタログ上、測定距離が5cmで測定する仕様⁶⁾となっており、他社のカタログ値などから類推すると、測定領域が約250mmであり、そのままでは高い分解能を得ることは難しい。そこで、図6に示すような配置で段階的に測定距離を短くし、測定距離と分解能の関係について検討した。測定条件を表1に示す。なお、試験を開始する直前に保護シートを剥離し、測定の順番としては、測定距離が長い方から開始し、最終的に2mmまで段階的に測定距離を短くしていった。

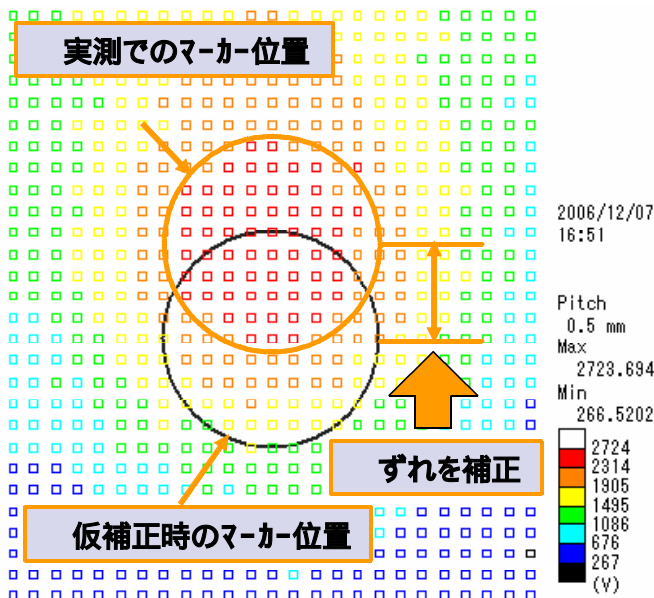


図4 位置決めの補正方法

3. 実験方法

3.1 Model370による可視化実験

今回評価を行った表面電位計の中で、最も高い分解能を持つトレックジャパン(株)のModel370を用いて、図5に示すようにDVDメディアの表面電位分布を測定した。測定したDVDメディアは、セロファン包装されたアクリルケースから手で取り出し、そのままステージ上に固定したもので、意図的に摩擦などは行っていない。なお、測定ピッチは1mm、測定距離は1mmで測定した。また、4cm角の塩ビ板については0.5mm間隔で測定した。

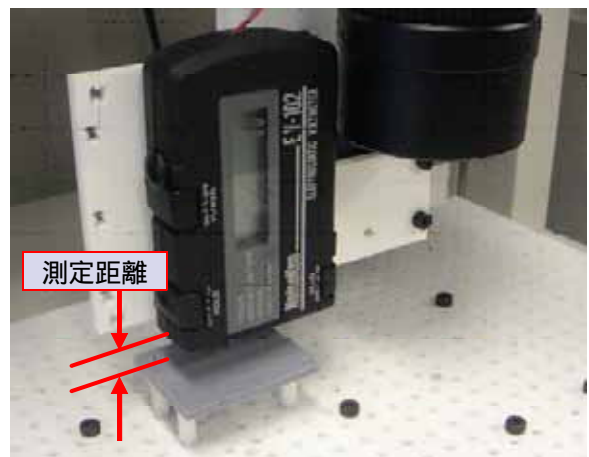


図6 測定距離と分解能の関係の実験

表1 測定条件

被試験体	塩ビ板(保護シート付き)
サイズ	50mm×40mm
測定ピッチ	1mm
測定距離	40, 30, 20, 10, 5, 3, 2mm
天候	雨
温湿度	29, 72%

3.3 従来法（帯電微粉末散布法）との比較

従来の帯電分布可視化法として、帯電した被測定物に対し、その帯電と逆極性に帯電した微粉末を散布すると、被測定物の帯電した部分に選択的に微粉末が附着し、帯電分布を可視化する方法が知られている⁶⁾。この方法に用いられる微粉末としてはレーザープリンター用トナーが現在では最も一般的である。ここで、プラスに帯電した赤色トナーと、マイナスに帯電した青色トナーを同時に被測定物に散布すると、被測定物のプラス帯電とマイナス帯電の状況を可視化できる。

今回の実験では、保護シートの貼られた8cm×4cmの白いアクリル板を供試体(図7参照)とした。その板を供試体固定版に固定した後、その中央部の1cm角の保護シートを剥離し、チップ状の電子部品でその領域を摩擦帯電させた。その後、残りの部分の保護シートを全て剥離し、すぐに可視化システムで測定した。測定終了直後に、その板に対し帯電微粉末散布法による可視化を行った。

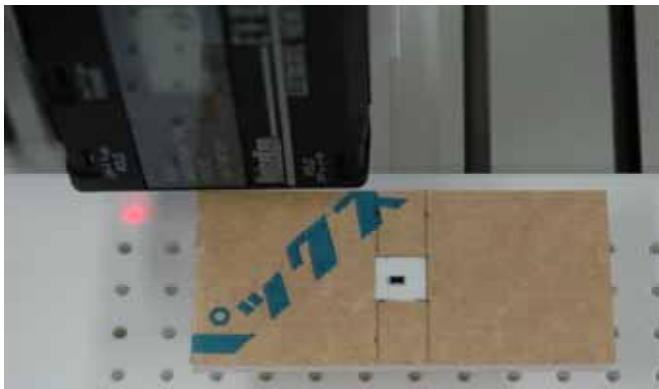


図7 従来法と比較した供試体

3.4 EV-102の測定精度の向上実験

Model370は±3kVの測定値を±30Vとしてアナログ出力するため、AD変換範囲が±50VのタイプのAD変換器を当初使用していたが、EV-102の場合、±20kVの測定値を±2Vで出力するため、±50VのタイプのAD変換器では読み取り変動が大きくなる。そこで、同一メーカーの±10VタイプのAD変換器で読み取り変動の比較実験を行った。

3.5 剥離帯電後の表面電位の推移の測定

静電気による帯電は時間とともにある程度、移動、減衰することが知られている。電荷の減衰は、電荷減衰曲線と呼ばれており、初期の電位 V_0 から電位が1/2になるまでの時間は半減期と呼ばれている。

被試験体の減衰特性を評価する方法としては、JIS規格法(JIS L 1094-1997)などがある⁷⁾が、専用の装置が必要なため、今回は、保護シートのついているアクリル板を被試験体とし、保護シートを剥離した時の表面電位の推移を観測することとした。ここでは、図8に示すように、保護シートの一部を少し剥がし、その部分にテープを接着したの

ち、表面電位計を剥離する領域の中央部に対向させ、測定距離を所定の隙間(1mm, 3mm)に調整する。その後、EV-102の出力値の記録を開始し、10秒後に保護テープを素早く引き剥がし、その後の推移を約3時間に渡り記録した。

なお、実験時の気温は26℃、湿度は64%であった。

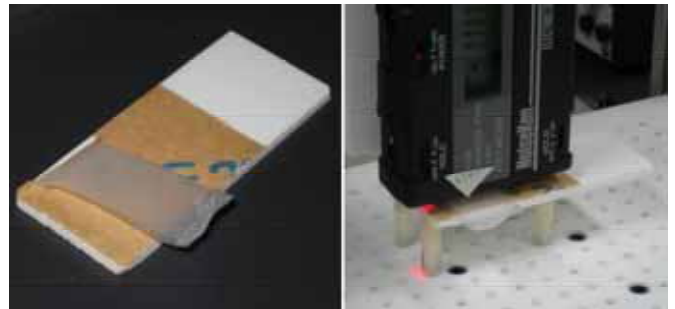


図8 被測定物（保護シートに接着テープを取り付け）

4. 結果及び考察

4.1 Model370による可視化実験

トレックジャパン(株)のModel370によってDVDメディアの帯電状況を可視化した結果を図9に示す。

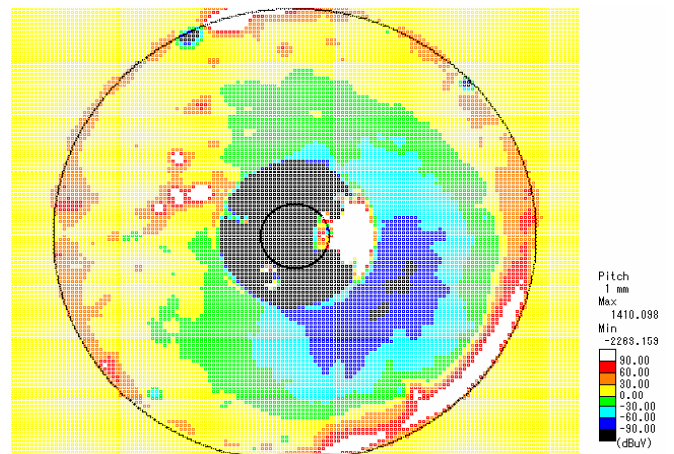


図9 Model370によるDVDメディアの帯電分布例

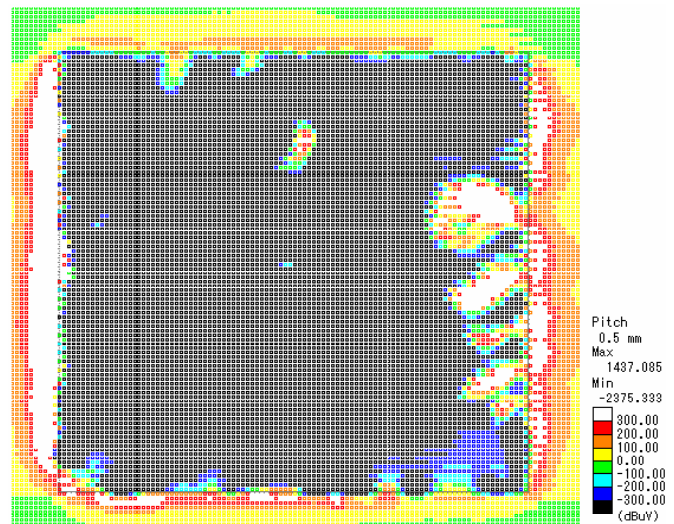


図10 Model370による塩ビ版の帯電分布例

また、4 cm角の塩ビ板を0.5mm間隔で測定した際の帯電分布列を図10に示す。いずれの測定物についてもプラスやマイナスに帯電した領域が複雑に入り組んでいる様子が可視化されており、DVDメディアの中心部や塩ビ板の右下部分などでは、プラスとマイナスに帯電している約1 mm角の領域が隣接している様子を可視化できた。

4.2 被測定物と表面電位計との距離と分解能の関係
各測定距離での測定結果を図11に示す。測定距離が近づくにつれて、細かい帯電分布が現れてくるのが分かる。

更に、測定距離2 mmで測定した際に、極性がマイナスでの帯電が最も大きかった座標（最小電圧点）における測定値と測定距離との関係について図12に示す。この図によると、約10mm離れた時点で測定値が0 Vになり、それ以上離れるとほとんど0 Vになっている。これは、約10mm離れると、測定領域は約30mm となり、その領域全体の帯電量の平均値が0 Vに近くなるためと思われる。これらの結果から、EV-102でも測定距離を被測定物に極力近づけることで、分解能が向上することを確認できた。

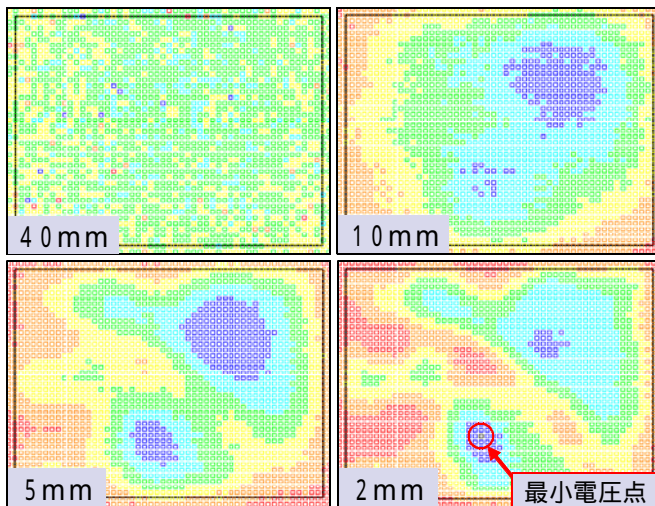


図11 各測定距離での可視化結果

(色分けレベルは各距離における最大・最小値の8分割)

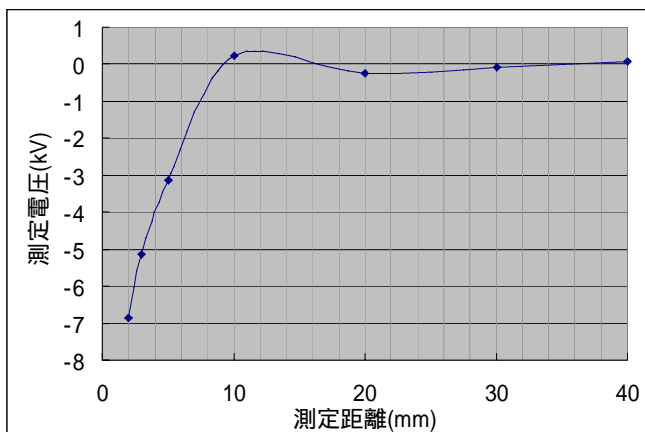


図12 最小電圧点における測定距離と測定電圧の関係

4.3 従来法（帯電微粉末散布法）との比較

従来法（帯電微粉末散布法）の結果を図13に示す。青色の部分はプラスに、赤色の部分はマイナスに帯電していることを意味する。中央の1 cm角の領域は、チップ部品との摩擦によってプラス帯電している。その周囲の保護シートを剥離した部分については、左下から右上方向に斜めに剥離していった様子が可視化されている。さらに右上部になるにつれてマイナス帯電からプラス帯電に変化しているのが分かる。

これに対して、今回開発した可視化システムでの測定結果を図14に示す。可視化システムの場合、プラス側が赤色、マイナス側が青色となり、従来法と比べて色合いの表現としては逆だが、プラス帯電、マイナス帯電の具合や、斜め方向に帯電分布が傾斜している様子など、従来法とほぼ同様の結果を得られることが分かった。

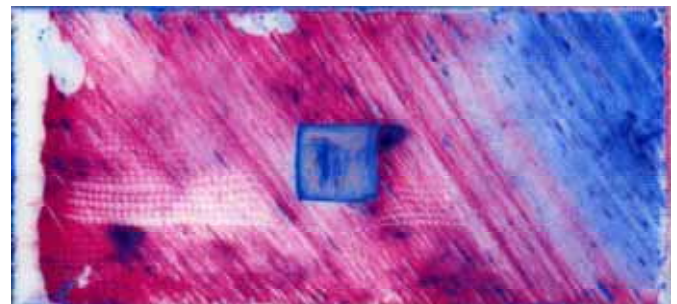


図13 従来法（微粉末散布法）

(青：プラス帯電部分，赤：マイナス帯電部分)

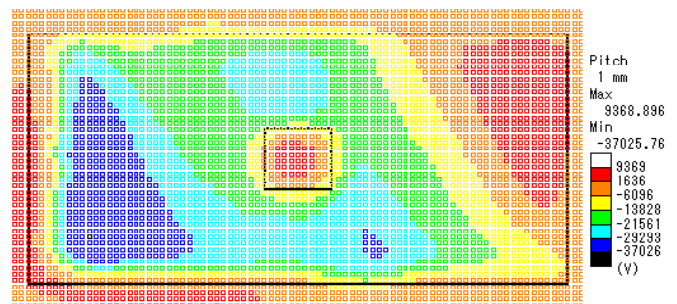


図14 可視化システムでの解析結果

(赤：プラス帯電部分，青：マイナス帯電部分)

このことから、EV-102でも測定距離を極力狭くすることで、従来法と相関性があり、より高い分解能で可視化できることを確認した。

さらに今回の可視化法の場合、帯電の度合いを色合いや数値で確認でき、被測定物を汚染しないというメリットもあげられる。

4.4 測定精度の向上実験

当初使用していた±50 VタイプのAD変換器での変換結果を図15に、±10 VタイプのAD変換器での変換結果を図16に示す。この結果、当初±200 V程度あった変動を約±50 V程度に軽減させることができた。これにより、微弱な帯電が

問題となるケースでも、より正確な判断ができるようになった。

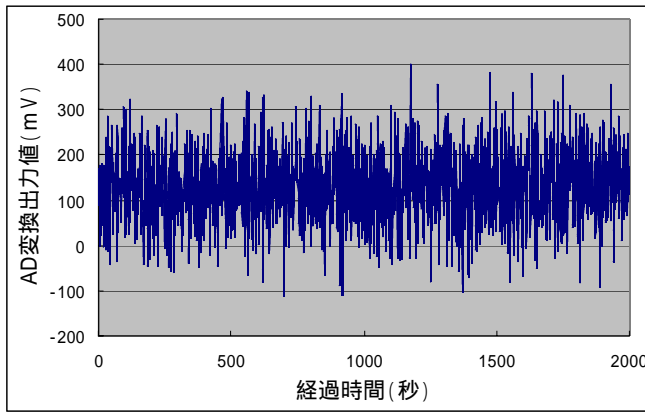


図15 変換範囲が±50Vタイプでの読み取り値

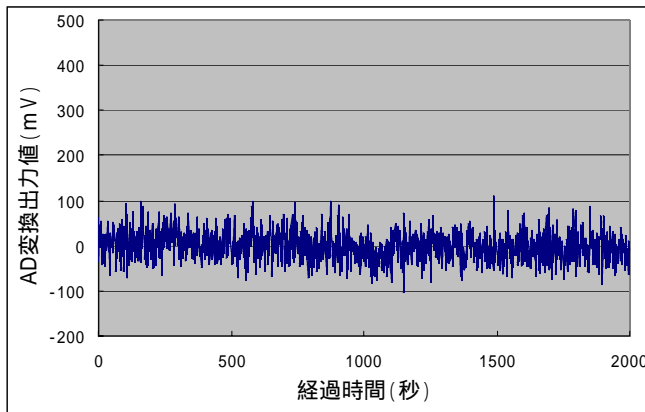


図16 変換範囲が±10Vタイプでの読み取り値

4.5 剥離帯電後の表面電位の推移の測定

測定を開始し、保護シートを剥離した5秒後までの表面電位の推移を図17に、剥離後3時間までの推移を図18に示す。さらに、剥離直後に記録された最大電圧値に対する経過時間毎の表面電位のパーセンテージの推移を表2に示す。

保護シートを剥離した後の表面電位の推移の割合は、測定距離が1mmと3mmの時で若干異なっているが、概ね剥離後、瞬時(約0.2秒)に表面電位が最大となり、その後急速に電位が低下し、約1分後には最大値の40%~50%になり、その後は、10分あたり約1%と比較的緩やかに電圧が低下することが分かった。

これらの結果から、保護シートなどの剥離に伴う帯電電位の変化を測定する場合、剥離直後の瞬間的な変動を測定する必要があるため、表面電位計を測定したい場所に固定し、高速サンプリングを開始したうえで被測定物を剥離させる必要がある事が分かった。

また、広い面積の帯電分布を可視化する場合、剥離後、数分から3時間程度は比較的緩やかに電位が低下(10分間

で約1%程の低下)することを承知したうえで、なるべく短時間で測定を完了させる必要があることが分かった。

なお、表面電位の低減する割合は被測定物の材質や表面形状、周辺温度などの影響を受けやすいので、今回のように、剥離後の時間経過に伴う電荷減衰曲線を調べる実験を行ったうえで、耐電分布の測定を行う時間を検討する必要があると思われる。

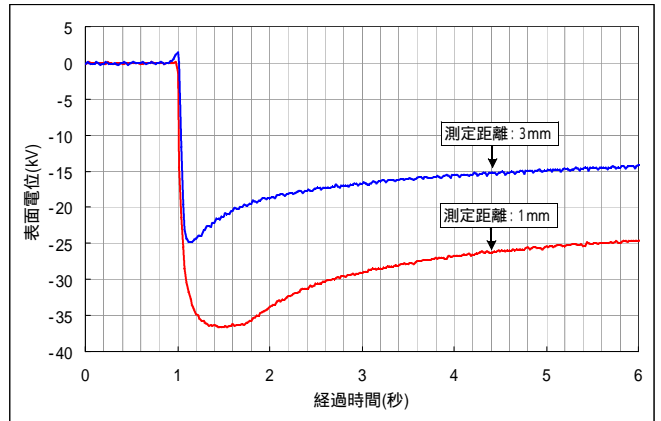


図17 保護シート剥離直後の表面電位の変化

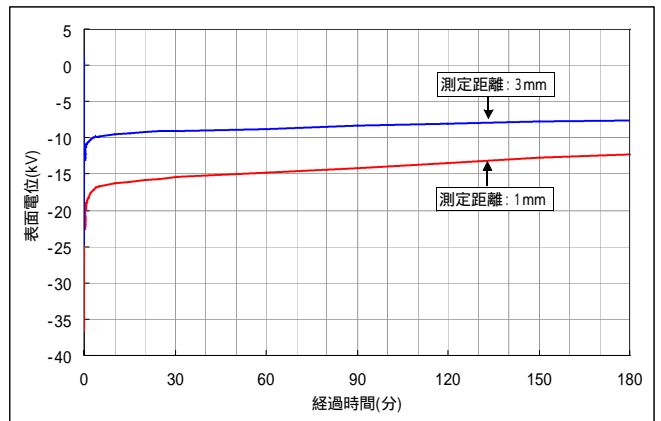


図18 保護シート剥離後3時間の表面電位の推移

表2 保護シート剥離後の表面電位の推移

経過時間		1秒弱(Max)	1分	2分	5分	10分	20分	30分	1時間	2時間	3時間	
測定距離	1mm	電位(kV)	36.7	18.7	17.5	16.7	16.2	15.9	15.3	14.7	13.5	12.2
	%	100	51	48	45	44	43	42	40	37	33	
3mm	電位(kV)	24.8	10.6	10.2	9.8	9.5	9.2	9	8.7	8	7.6	
	%	100	43	41	39	38	37	36	35	32	31	

5. 結 言

静電気帯電可視化システムを開発し、様々な実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 高分解能の表面電位計を用いた場合、1mm程度の領域の帯電領域を可視化することができる。
- (2) 正確な位置合わせと被試験体の映像への重ね表示により、帯電箇所を特定することが可能となった。

- (3) 目的（最大電圧，分解能，応答速度）に応じて，市販されている各社表面電位計を取り付け可能となった。
- (4) 携帯型の表面電位計（（株）ノイズ研究所 EV-102）でも測定距離を極力近づけることで分解能の向上が可能であることを確認した。
- (5) EV-102での測定変動は ± 50 V程である。
- (6) 従来の帯電分布可視化法（帯電微粉末散布法）での可視化結果とほぼ同様の結果を得られることを確認した。さらに，今回の可視化法の場合，被測定物を汚染しないことや帯電度合いを色合いで確認できるというメリットもある。
- (7) 剥離現象に伴う最大電圧を測定する場合は，表面電位計を測定したい位置へ固定し，高速サンプリングを開始したうえで被測定物を剥離する。
- (8) 帯電分布測定を行う場合，被測定物の電荷減衰曲線を予め確認したうえで，電圧低下の比較的緩やかな時間帯で，なるべく短時間で測定を行う。
- さらに，必要に応じて以下の事項について，これからも検討を加えたい。

- ・高速，高分解能な表面電位計の導入。
- ・高速サンプリングによる剥離帯電現象の測定。
- ・絶対値への換算方法の検討。
- ・帯電分布可視化測定の高速度化。
- ・測定値変動の低減化。

現在，この可視化システムについては，静電気トラブルの発生した県内企業の製造現場に持ち込み，イオナイザの効果的な使い方の検討や静電気発生原因の究明などのために活用を開始している。今後も，現地指導や共同研究などを通じて県内企業の静電気トラブル解決のために役立てたい。

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) 尾前宏ら：鹿児島県工業技術センター研究報告，18，57-63（2004）
- 3) “表面電位センサーEF-S1カタログ”，SUNX（株），6（2006）
- 4) “静電気対策機器シリーズカタログ”，オムロン（株），5（2005）
- 5) “取扱説明書 静電電位測定器 Model EV-102”，（株）ノイズ研究所，1-5（1994）
- 6) “正しい電気特性の測定と評価”，技術情報協会，173-180（2005）
- 7) 日本規格協会，JIS L 1094-1997，“織物及び編物の帯電性試験方法”（1997）

