

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760377

研究課題名（和文） 帯電二次元分布可視化計測システムの開発

研究課題名（英文） Development of measuring system for charge distribution

研究代表者

菊永 和也（KIKUNAGA KAZUYA）

産業技術総合研究所・生産計測技術研究センター・研究員

研究者番号：10581283

研究成果の概要（和文）：本研究では帯電体振動法を用いて非接触で帯電を可視化するために、電界から静電気の情報に変換するための技術を確立し、空気中において十分な音圧が得られる集束音波が発生可能な音響デバイスを開発した。これらを用いて集束音波によって非近接で局所的に振動させ、その位置における電界の情報を測定することで、帯電の二次元分布を可視化する計測システムの開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：A system for visualizing the electrostatic charge without contact using charged material oscillation method has been developed. There, it was established a technology to convert the information of the charge from an electric field, and a focused ultrasound device was developed. Using them, measurement of the electric field at the vibrating position by using focused ultrasound was demonstrated, and development of a new measuring system to visualize the two-dimensional distribution of the electrostatic charge was succeeded.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測システム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、生産現場ではパーツフィーダのつまりや製品の接触・剥離トラブルなどの静電気障害が増加している。これは、多種多様な製品を製造する生産工程の複雑化や生産工場の装置オートマ化が進み、それらの様々な制約において、既存の静電気計測が対応しきれなくなっていることが問題の要因の一つと

して挙げられる。特にエレクトロニクス分野においては、デバイス静電気放電耐性の低下から静電気問題が深刻化している。そこで静電気を制御・軽減するために、生産現場では帯電の二次元分布を可視化できる技術の開発が切望されている。

これまで静電気計測として表面電位計、走査型プローブ顕微鏡、ポッケルス効果やカー

効果などの電気光学効果を用いた方法など、様々な技術が開発されてきた。しなしながら、表面電位計は静電誘導の特性から他の帯電物やアースなど周囲環境の影響を受けやすく近傍での計測が必要である。また、他の技術はその計測原理の制約から生産現場での使用は困難である。生産現場での静電気計測としては様々な環境に対応可能であることが求められている。

## 2. 研究の目的

本研究では静電気を帯びた物体を物理的に動かし発生した変化を検出するという事に着目して、帯電体振動法 (CMO) による帯電計測技術を開発、これを用いて二次元分布計測への展開を行った。ここでは CMO 法の技術的基盤を確立し、それを実現するための集束音波発生装置を開発することで、帯電の二次元分布可視化システムを開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

帯電体振動法は、帯電体を振動させ、発生する電界を測定することで、対象物の静電気を検出する方法である。そこで、まず、この技術を確立するために、音響スピーカー、ファンクションジェネレータ、モノポール型アンテナ、オシロスコープまたはロックインアンプにより構成された実験システムを用いて、CMO 法に関連するパラメータの評価を行った。

また、CMO 法を用いた帯電可視化を実現するためには、空気中において十分な音圧が得られる集束音波の発生が可能な音響デバイスを開発する必要がある。そこで複数の超音波音源と電子フォーカス手法を用いることで、集束度と音圧を両立する集束音波の発生装置の試作を行った。

## 4. 研究成果

CMO 法の技術的基盤を確立するとして、その関連パラメータである電界強度・帯電量・振動周波数の関係について検討を行った。まず、音波照射によって振動させた帯電フィルムから誘起される電界に関連するパラメータとして、電界強度と表面電位の関係を調べたところ、それらが比例関係であり、電界強度を測定することで帯電の定量的評価が可能であることが明らかになった。次に、帯電させたフィルムにおいて照射音波の周波数を変化させながら電界の周波数依存性を測定したところ、照射した音波と誘起された電界の周波数が同じであることが分かった。また、50Hz 以下の低周波ではその基本周波数の2倍や3倍の高調波が観測された (図1)。より詳細に検討するためにフィルムの振動をレーザー変位計で測定したところ、50Hz

以上では比較的正弦波に近い振動をしていたのに対して、50Hz 以下の低周波側ではパルスに近い振動をしていた。これより音波照射によって誘起される電界は帯電している電荷が空間的に振動したことを反映していることが分かった。このことから照射する音波はパルス応答よりも共振周波数を用いた方が誘起電界を効率的に発生させられることができることを明らかにした。

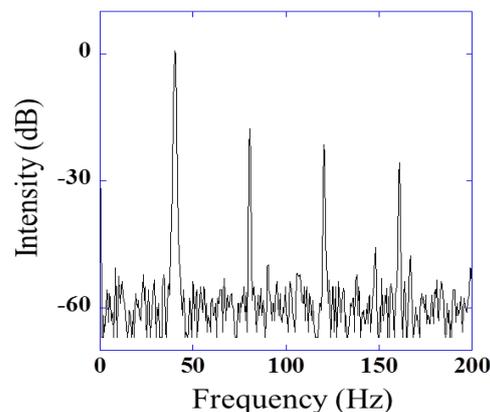


図1 帯電フィルムを40Hzで振動させたときに測定された電界の周波数依存性

さらに電界測定に用いているモノポールアンテナにおいては、そのアンテナ長が長い方が電界を効率よく検出でき、アンテナ長が20cm程度で飽和し始めることが分かった。これらの評価結果を基に音波照射方法、電界の誘起・検出方法の最適化することで、測定距離1cmにおいて、表面電位が10V以上で検出感度誤差10%以下の帯電が検出可能なCMO法の技術を確立した (図2)。

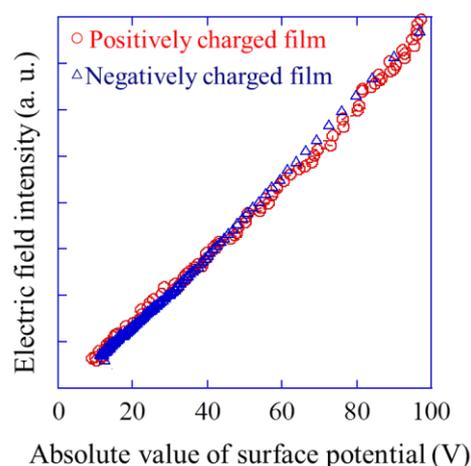


図2 表面電位と電界強度の関係

続いて、CMO法を用いて非接触で帯電を可視化するためには、対象物を非近接で局所的に振動させて、その位置における電界の情報を測定する必要がある。そこで、集束音波

が発生可能な音響装置の開発を行った。まず、超音波振動子を約 200 個用いて矩形型の超音波振動子アレイを試作し、各超音波振動子の位相を制御するデバイスを試作した。ここでは、空気中で比較的音圧が得られやすい可聴周波数だけでは局所的音波が得られないため、40kHz の超音波と低周波音を組み合わせた変調音波を用いた。これを用いて、厚さ 10 $\mu$ m の塩化ビニルシートに集束音波を照射し、その音圧によって変化したシートの変位をレーザー変位計で測定したところ、半値半幅が約 25mm で、約 1mm の変位が観測された。これより、約  $\Phi$ 25mm 程度の集束度と、測定対象物を振動させるのに十分な音圧を持つ集束音波が発生する音響装置を開発することに成功した。

次にポリイミドフィルム対象として、この音響装置と x-y ステージを用いて、集束音波を 1 点 1 点動かしながら局所的に振動させたときに発生する電界を測定し、それぞれの位置で測定された電界強度の分布を測定した (図 3)。そして、この分布の検証を行うために、表面電位センサと x-y ステージを用いて 1 点 1 点動かしながら走査する表面電位測定法を用いて、空間的な帯電位置と帯電量の関係を比較したところ、その分布が比較的一致した。また、このときに測定された各々の位置における電界の位相を考慮することによって、電荷の正と負の位置関係に相関性を見出した。これより、帯電の二次元分布を可視化する計測システムの開発に成功した。

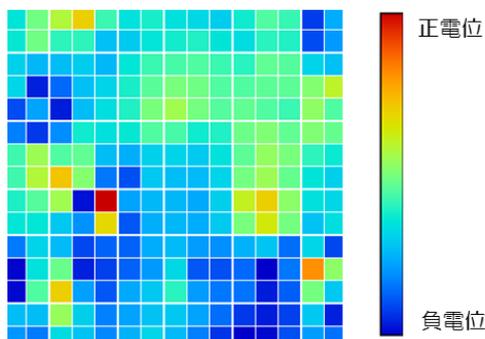


図 3 ポリイミドフィルムにおける帯電可視化の例

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① K. Kikunaga, T. Hoshi, H. Yamashita, Y. Fujii and K. Nonaka: Measuring technique for static electricity using focused sound, Journal of Electrostatics, 査読有, vol. 71,

pp. 554-557

DOI: 10.1016/j.elstat.2012.11.031

DOI:なし

- ② 菊永 和也, 山下 博史, 藤井 義貴, 野中 一洋, 誘起電界を用いた静電気計測技術、電気学会研究会資料、査読無、vol. IM-12, pp. 19-22

DOI:なし

- ③ K. Kikunaga, K. Toosaka, T. Kamohara, K. Sakai and K. Nonaka: A Study of Electrostatic Charge on Insulating Film by Electrostatic Force Microscopy, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, vol. 301, pp. 012043-1-012043-4

DOI: 10.1088/1742-6596/301/1/012043

[学会発表] (計 11 件)

- ① 菊永和也、静電気計測のための誘導低周波電界に関する研究、応用物理学会、2013 年 3 月 27 日、神奈川工科大学 (神奈川県)
- ② 菊永和也、集束超音波を用いた非近接型静電気計測技術、静電気学会、2013 年 3 月 7 日、東京大学 (東京都)
- ③ 菊永和也、誘起電界を用いた静電気計測技術、電気学会計測研究会、2012 年 11 月 29 日、佐賀大学 (佐賀県)
- ④ 菊永和也、集束超音波を用いた静電気分布計測技術の開発、応用物理学会、2012 年 9 月 12 日、愛媛大学 (愛媛県)
- ⑤ 菊永和也、音波振動を用いた静電気計測技術、応用物理学会、2012 年 3 月 16 日、早稲田大学 (東京都)
- ⑥ K. Kikunaga, Neutralization effect of Static Electricity in Localized Region on Wafer by Electrostatic Force Microscopy, International Symposium on Surface Science, 2011 年 12 月 14 日、Tower Hall Funabori, Tokyo
- ⑦ K. Kikunaga, Detection of Electrostatic Charge using Charged Material Oscillation, 2nd ISNPEDADM-2011, 2011 年 11 月 15 日、Institut de Recherche pour le Développement, New Caledonia
- ⑧ 菊永和也、音波を用いた帯電計測手法の開発、電気学会、2011 年 9 月 21 日、東京工業大学 (東京都)
- ⑨ 菊永和也、帯電体振動法を用いた静電気計測技術の開発、静電気学会、2011 年 9 月 12 日、東京理科大学 (東京都)
- ⑩ 菊永和也、音波を用いた静電気計測技術の開発、応用物理学会、2011 年 8 月 29 日、山形大学 (山形県)
- ⑪ K. Kikunaga, A Study of Electrostatic Charge on Insulating Film by Electrostatic Force Microscopy, 13th International Conference on Electrostatics, 2011 年 4 月 11 日、Bangor university, United Kingdom

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：静電気量計測装置、静電気量計測方法

発明者：菊永和也

権利者：独立行政法人産業技術総合研究所

種類：特許

番号：PCT/JP2012/059858

出願年月日：24年4月11日

国内外の別：外国

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菊永 和也 (KIKUNAGA KAZUYA)

産業技術総合研究所・生産計測技術研究センター・研究員

研究者番号：10581283