

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420427

研究課題名(和文) 高空間分解能静電気分布モニタリング計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of monitoring system for measuring static electricity distribution by high spatial resolution

研究代表者

菊永 和也 (Kikunaga, Kazuya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・製造技術研究部門・主任研究員

研究者番号：10581283

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず静電荷を励振することで誘起される電界を検出することによって静電気を計測する技術を確立した。次に、多点で同時に電界を計測するために、小型電界センサを並べることによりアレイセンサを開発した。続いて、アレイセンサの各空間位置における静電気を計測するシステムを構築した。最後にこのシステムを用いてアクリル表面の静電気分布を計測した。これより空間分解能1 mmかつ短時間で静電気分布を計測するモニタリングシステムの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：An electric field is induced by vibrating a static charge. First, it was established a technology to measure static electricity by detecting the electric field. Second, an array sensor by arranging a small electric field sensor was developed for measuring the electric field at many position at the same time. Third, system for measuring the static electricity at each spatial position on the array sensor was constructed. Finally, using this system, static electricity distribution on the surface of acrylic plate was measured. Therefore, Development of a new monitoring system for measuring static electricity distribution in high spatial resolution and short time was succeeded.

研究分野：静電気

キーワード：静電気分布 高分解能 振動

1. 研究開始当初の背景

近年、製造業の生産現場では生産効率を高めるために製造のオートマ化が進んでいる。高効率のために搬送工程は重要な役割を担っており、製品を傷つけないようにゴムなどの柔らかい素材が使われたり、摩擦などの消耗の観点から樹脂やセラミックなどが使われたりする。そのため、生産現場では製品が高絶縁材料との接触・剥離が繰り返され、静電気発生率が高くなっている。そのような静電気は軽量小型製品の搬送不良、放電による火災等の災害など様々なトラブルを引き起こす原因になっている。静電気が絶縁材料に帯電する場合、その高い表面抵抗から静電荷は表面に不均一に分布する。このことから静電気の対策を十分に行うために静電気分布の評価技術が求められている。

これまで静電気計測として、生産現場において一般的に表面電位計が使用されてきたが、静電気分布を測定するためには、表面電位計を物理的走査またはアレイ化する必要がある。しかしながら、既存の表面電位計は、感度を上げるためにセンサ内部に回転・振動機構が必要であり、センサの小型化ができないことや、その計測原理から $\sim 10\text{mm}$ 以下の狭領域計測が困難であり、高空間分解能化が困難である。そこで、さらに高分解能で静電気分布を計測するには、走査型プローブ顕微鏡を用いる方法がある。走査型プローブ顕微鏡は先端が尖ったプローブにかかる静電気力や表面電位を計測対象としており、空間分解能として $\mu\text{m}\sim\text{nm}$ オーダーで静電気分布を計測することが可能である。しかしながら、この方法では精密に制御されたプローブをアレイ化して計測することが困難であり、分布を測定するためにはプローブを物理的に走査する必要があることから、分布計測に数分程度の時間を要する。

静電気の分布計測は空間分解能と計測時間がトレードオフの関係にあるため、静電気の二次元分布計測において、高空間分解能と高速計測を両立することができなかった。このことから、高空間分解能かつ短時間で、静電気分布を計測できるシステムの開発が切望されている。

2. 研究の目的

本研究では、帯電した対象物を振動させ、静電荷を励振することで誘起される電界を検出することによって、静電気を計測する技術“振動誘起法”を活用し、数 mm オーダーの空間分解能かつ短時間で静電気分布を計測するシステムを開発することを目的とした。そのために、まず振動誘起法を基盤とした低周波電界の多点計測技術を確立した。そして開発した小型低周波電界センサをアレイ化し、静電気分布計測システムを試作した。

3. 研究の方法

まず、電波暗箱内において、小型振動発生

装置、レーザー変位計、ロックインアンプ、スペクトラムアナライザ、電界センサ、自動ステージを組み合わせた統合自動計測システムを開発した。このシステムを用いて振動誘起法による低周波電界に関する評価を行った。

次に、電界センサを並列させ電界分布を計測するためのシステムを試作した。さらに狭領域における低周波電界を計測するセンサについて、その構造、電界の周波数依存性、計測感度の関連を詳細に検討し最適化した。その知見を基に低周波電界が計測可能な小型の指向性センサを試作し、そのセンサのアレイ化による電界分布計測を試みた。

続いて、開発した小型低周波電界センサのアレイ化を最適化し、ライン状にアレイ化させた小型静電気センサの計測精度と時定数の関係、ならびにアレイセンサの移動速度に伴う計測精度の変化について検討を行った。

最後に、開発した静電気分布計測システムの性能を評価した。

4. 研究成果

電圧を印加した対象物を振動(100 Hz 、振幅 $100\ \mu\text{m}$)させたときに誘起された電界を X -、 Y -、 Z -軸の成分に分けて測定を行い、対象物直上における電界特性の評価を行った(図1)。振動誘起法を用いた帯電体の直上では、振動数と同じ周波数の電界において、 X -、 Y -成分の電界が検出されていないことが分かる。これは、電荷振動によって誘起される電界がベクトルを持っており、電荷の直上では Z 軸成分の電界しか誘起されないことを示している。また、 Z 軸の電界は印加電圧と直線比例の関係であり、誘起された電界を測定することで静電位(表面電位)を推測することが可能であることを示している。

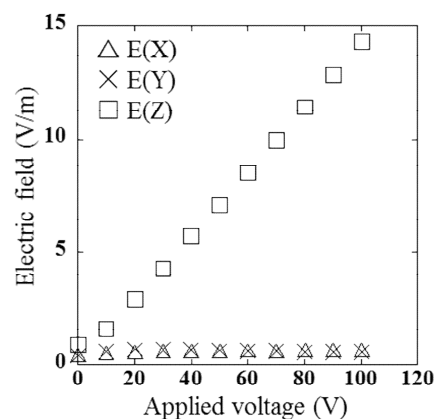


図1 振動誘起法により発生した電界特性とサンプルへの印加電圧との関係

この計測原理を用いて高分解能な静電気分布を計測するためには、横方向の影響を受けにくく、狭い領域を計測可能な電界センサ構造にする必要がある。本研究では、電界センサの構造としてパッチ型を適応し、計測領域の検証実験を行なった。その特性を比較す

るために静電誘導型と振動容量型の表面電位計も併用して評価を行なったところ、試作したセンサは、既存の表面電位と比べて横方向から受ける影響が極めて低く、10 mm の範囲を計測できることが分かった。続いて、パッチ型電界センサを5個×5個で並列させたものを用いて、25個の各センサからの信号を同時に処理するシステムを構築した。これを用いて標準サンプルの電界分布を計測したところ、電界分布がサンプル形状と一致した。このことから、パッチ型センサを並列に並べて、多点で低周波電界を同時に計測する技術を確立した。

10 mm の範囲よりも狭い領域を計測するためにはセンサを小型化することが有効であるが、一方で電界の検出感度が低くなる。またアレイ化する際にセンサ間隔が近いと電界が干渉することから、センサを並列させるときに隣接したセンサ同士が電界に関して干渉しない構造にする必要がある。本研究では上記を考慮し、パッチ型電界センサ(サイズ:1 mm 以下)30個を1 mm 間隔で並べた構造を用い、各センサからの信号はそれぞれロックイン方式で測定し、電界の検出感度を評価した。平板電極に直流電圧100 Vを印加したサンプルを用いて、各センサのバラツキを比較したところ、各センサ間の最大誤差1.4%であることが分かった。これにより、空間分解能が1 mmのアレイセンサを開発することに成功した。

続いて、開発したアレイセンサを用いて、高精度かつ短時間で静電気分布を計測するために、一軸方向にスキャンする方式を検討した。そこでは信号積算時定数とアレイセンサの移動速度に伴う計測精度の変化等の信号処理について検討を行った。まずアレイセンサの各センサから抽出された信号において積算時定数を300 msに設定し、アレイセンサを水平に1, 20 mm/sで移動させたときの計測精度を評価した。図2は楕円形サンプルの片方に100 V、他方に0 Vを印加し、アレイセンサを水平に移動させ速度を変化させたときのセンサ1個の出力値を示している。

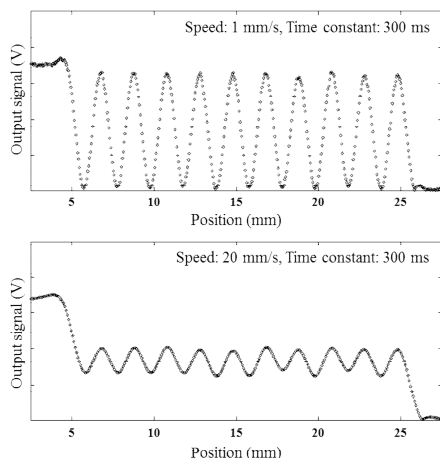


図2 センサを水平移動させたときの速度と出力電圧の関係

アレイセンサ移動速度1 mm/sのときは各位置において95%以上の計測精度であるのに対し、アレイセンサ移動速度20 mm/sのときは計測精度が30%以下に低下することが分かった。このようなことから信号積算の時定数300 msにおいて、90%以上の計測精度を保つためには、アレイセンサ移動速度5 mm/s以下にする必要があることが分かった。また信号積算の時定数を300 ms以下にすることで、さらに高速で、同程度の計測精度を得られることも分かった。これらのことから、小型の電界センサを並べたアレイセンサを、一軸方向にスキャンし、各空間位置における静電気を計測することで、空間分解能1 mmかつ短時間で静電気分布を計測するシステムの開発に成功した。

この開発したシステムにおいて計測条件を最適化し、細かく柔らかい繊維で摩擦したときのアクリル表面を計測(面積:30 mm×30 mm、計測時間:5秒)したところ、-1000 V ~ +1000 Vの電荷が不規則に分布した静電気を観測することに成功した(図3)。この静電気分布は、数分後、絶対量がわずかに変化したものの、分布自体は変化しなかった。これはアクリル表面の絶縁性によって電荷が同一表面内を動くことができないことを示している。

この静電気分布計測システムは、平面の形であればどのような材料でも適応することができ、気中の環境下で簡易に操作可能であるため、広範囲の分野の製造現場で用いられている様々な材料に適応することができる。

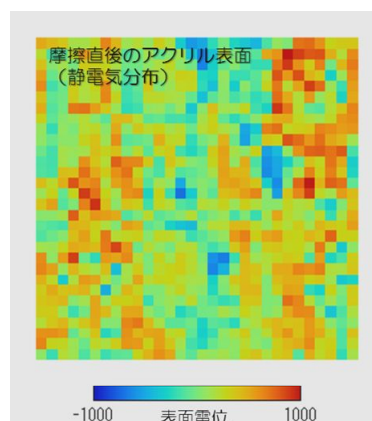


図3 開発したシステムを用いて評価したアクリル表面の静電気分布の計測例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) K. Kikunaga, H. Yamashita, M. Egashira and K. Nonaka: Measurement technique of vibrational distribution using static electricity and capacitance, International Symposium on Inertial Sensors and Systems, 査読無, (2015) pp. 1-4
DOI: 10.1109/ISISS.2015.7102370
- (2) 菊永 和也, アレイアンテナを用いた静電

気分布計測に関する研究、RCJ 信頼性シンポジウム論文集、査読無、(2013) pp. 78-83
DOI:なし

〔学会発表〕(計 7 件)

- (1) 菊永 和也、山下 博史、野中 一洋、誘起電界を用いた静電気の狭領域計測に関する研究、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、2013 年 9 月 17 日、同志社大学(京都府京都市)
- (2) 菊永 和也、アレイアンテナを用いた静電気分布計測に関する研究、RCJ 信頼性シンポジウム、2013 年 10 月 30 日、大田区産業プラザ(東京都大田区)
- (3) K. Kikunaga, H. Yamashita, M. Egashira and K. Nonaka: Study on Charge Oscillation- Induced Low-Frequency Electric Field, International Symposium on Electromagnetic Compatibility、2014 年 5 月 13 日、Tokyo (Japan)
- (4) 菊永 和也、静電気分布計測技術、産総研計測・診断システム研究協議会インスペクシオン技術研究会、2014 年 12 月 15 日、出島交流会館(長崎県長崎市)
- (5) 菊永 和也、静電気分布計測技術、エレクトロニクス実装学会官能検査自動化研究会、2015 年 1 月 28 日、回路会館(東京都杉並区)
- (6) 菊永 和也、江頭 正浩、山下 博史、檜枝 龍美、野中 一洋、高空間分解能な静電気分布計測のためのセンサアレイの開発、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、2015 年 3 月 12 日、東海大学(神奈川県平塚市)
- (7) 菊永 和也、江頭 正浩、山下 博史、微小空間における小型静電気センサの計測時間・精度の検討、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、2015 年 9 月 14 日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称：静電気分布計測装置および静電気分布計測方法

発明者：菊永和也、野中一洋

権利者：独立行政法人産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特願 2013-151185

出願年月日：2013 年 7 月 20 日

国内外の別：国内

名称：静電気分布計測装置および静電気分布計測方法

発明者：菊永和也、野中一洋

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/JP2014/056628

出願年月日：2014 年 3 月 13 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・製造技術研究部門・主任研究員

研究者番号：10581283