

静電誘導法による電場測定

日大生産工

○大熊 康典

日大・理工

野木 靖之

1 まえがき

電荷があるとその周囲には電場が作られる。平面や球面などに一様に電荷が分布した特別な場合の電場の構造は、ガウスの法則を使って数学的に簡単に知ることができる。このような電場は、理系学生の基礎知識として講義や演習で詳しく教えられている。

本研究の目的は、講義で教える電場の典型例を実験で演示することである。そのために、簡便であるがやや複雑な電場測定にも対応することができる電場センサーを試作した。測定原理は、電場中に置かれた導体の表面に誘起する電荷量から電場を求める静電誘導法¹⁾である。この電場センサーを使って、平行円板コンデンサーの内部および端部の電場、直線状および小円板上に分布した電荷の電場、電気双極子の電場などを測定し、それぞれの理論値と比較を行った。

2 電場センサー

本実験で使用した電場センサーを図1に示す。薄い導体板を2枚向かい合わせ、それらを抵抗 R_p により電氣的に接続した簡単なものである。

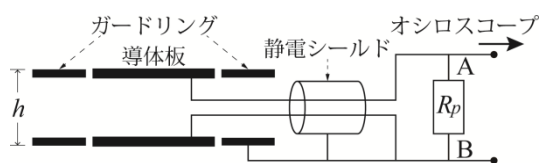


図1 ガードリング付き電場センサー

一般に、一様電場中に置かれたこのような導体板の端縁部には電荷が集中するため、導体表面の電場は場所に依存する。しかし、導体板の周囲に図1に示すガードリングを取り付けると電荷の集中はガードリングで起こり、内側の導体面上ではほぼ一定となる²⁾。

実験では2つの電極に高周波電圧を印加して電場を作る。電極間の電場を測定する場合は、図2に示すように中央の位置に電場センサーを設置する必要がある。その理由は、電場センサーの2枚の導体板に等量の正負の電荷を誘起させ、端子A、Bに接続したオシロスコープから検出される電流以外の余分な電流が R_p に流れ込まないようにするためである。

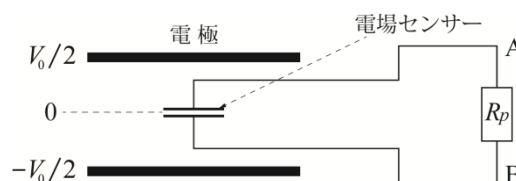


図2 電場センサーの配置

電場センサーは、厚さ0.1 mmの2枚の銅板を厚さ2 mmの木板に接着したもので、仕上がりの外厚は $h = 2.5$ mmである。銅板の面積が大きいほど電場センサーの出力 V_p は大きくなるが、空間分解が悪くなる。実験では、円型や帯型といった形状の電場センサーを電場の構造に合わせて使用した。ガードリングの材料は電場センサーと同じ厚さの銅板で、幅は5mmである。

3 測定装置

種々の形状の電極に分布した電荷が作る電場を測定するための実験装置の概要を図3に示す。発振器（内部インピーダンス：50 Ω ）から角振動数 ω の正弦波出力（10V）が複巻きトランスを経由して電極に印加される。

複巻きトランスの役割は2つある。1つ目は強い電場を発生させるために発振器からの出力を増幅することである。2つ目は電極を発振器のアース側電位から切り離すことである。その結果、電場センサーの電位をオシロスコープ

Measurement of Electric Field by Method of Electrostatic Induction

Yasunori OHKUMA and Yasuyuki NOGI

の電位 (≈ 0) に等しくすることができ、測定が容易となる。この実験では3段構造の複巻きトランスを使用し、約15倍の電圧増幅および電位の切り離しを図った。電場センサーの出力 V_p を大きくするためには、発振器からの角振動数 ω を大きくして R_p に流れる電流を増加させる必要がある。そのために、複巻きトランスのトロイダルコアには高周波特性の良いフェライトを使用し、300kHzの高周波電場による実験を行った。

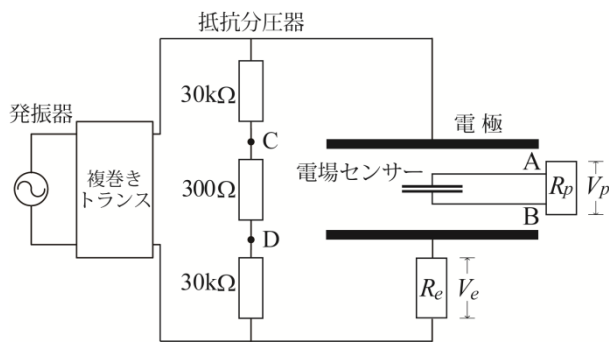


図3 電場測定装置

電極は厚さ0.1mmの銅板を木板に貼り付けて作成した。電極や電場センサーの支持部品には全て乾燥した木材を使用した。木材は、誘電率が比較的小さいために電場の乱れを低く抑えることができると同時に、加工し易いという利点がある。

電極間電圧 V_0 や電場センサー出力 V_p の測定には、絶縁型オシロスコープ（Tektronix TPS2024）と付属の電圧プローブ（P2220 倍率×1）を使用した。このオシロスコープはバッテリー駆動型なので、微弱な V_p を測定する際にはノイズの低減に有用である。

3 実験結果

ここでは、一例として平行平板コンデンサー内部の電場を測定した実験結果を示す。

半径7.5cmの2枚の銅板を平行に向かい合わせて作られた円板電極の中央に円型電場センサー

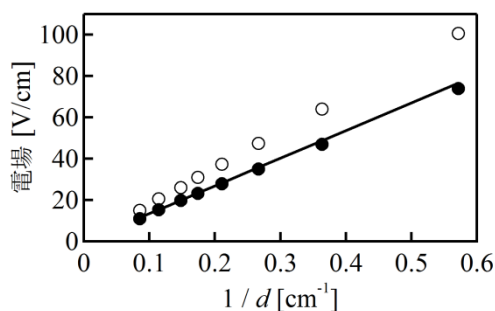


図4 電場強度の間隔依存性

（半径1cm）を設置し、電場の間隔依存性を測定した。測定結果を図4に示す。ガードリングがない場合が白丸印、幅5mmのガードリングを付けた場合が黒丸印である。参考のために電極間電圧 V_0 を測定し、間隔 d で除した電場 $E_0 = V_0 / d$ を実線で示した。ただし、 d の値には電極間隔から電場センサーの厚さ h を差し引いた補正值を使用している。また、 V_0 は d により僅かに変動するので、 V_p および V_0 の測定値を $d = 2$ cmの V_0 を基準にして補正した。この図から、ガードリングを付けた電場センサーが精度良く電場を検出していることが分かる。

電極間隔を $d = 4$ cmに固定して、電場センサーを径方向に1cmずつ移動させて電場強度の径方向依存性を調べた。測定結果が図5の黒丸印である。電場強度は中心の値 $E_0(0)$ で規格化した。参考のために、静電場に対するラプラスの式を数値計算して得られた結果を実線で示した。測定値と計算結果は良く一致し、電極端縁部 ($r = 7.5$ cm) から電場が外に洩れている様子が良く分かる。

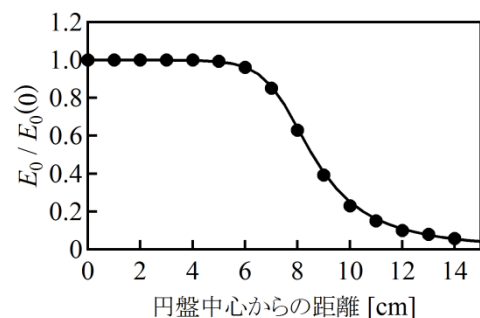


図5 電場強度の径方向依存性

4 まとめ

電場センサーによる電場測定法の有効性を平行円板コンデンサーの電場を使って確かめた。この方法を使って直線状電荷分布、小円板上の電荷および電気双極子などが作る電場を測定し、それぞれの理論値と比較した。その結果、講義で学ぶ基本的な電場構造を実験で演示できることが分かった。

【参考文献】

- 1) Yasunori Ohkuma, Taeko Ikeyama, and Yasuyuki Nogi, "Double-sensor method for detection of oscillating electric field", Rev. Sci. Instrum. **82**, (2011), pp.043501/1-6
- 2) 飯田修一, 大野和郎, 神前 熙, 熊谷寛夫, 沢田正三, 「物理測定技術」電氣的測定 (朝倉書店), pp.131-132